А. В. Пузаков

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2019

УДК 629.33(075.8)
ББК 39.33-04я73
П88

Рекомендовано учёным советом ГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Рецензенты:
д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой теоретической и общей электротехники Самарского государственного технического университета *В. Н. Козловский;*
д-р техн. наук, профессор, проректор по учебной работе Курганского государственного университета *В. И. Васильев*

Пузаков, А. В.

П88 Системы электроснабжения транспортных средств : учебное пособие / А. В. Пузаков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 228 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0344-3

Приведено описание принципов построения и функционирования систем электроснабжения транспортных средств. Раскрыты основные физические законы, на которых базируется работа источников электрической энергии, рассмотрены конструктивное исполнение, параметры и характеристики аккумуляторных батарей и генераторных установок, освещены вопросы технического обслуживания и диагностики систем электроснабжения.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Может быть использовано в рамках специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

УДК 629.33(075.8)
ББК 39.33-04я73

ISBN 978-5-9729-0344-3

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эксплуатационная надёжность, экономичность, активная безопасность и экологические качества автомобиля в значительной степени определяются работой его электрооборудования. Электрооборудование современного автомобиля представляет собой очень сложную систему, включающую несколько сотен изделий, а его стоимость составляет свыше трети стоимости автомобиля.

С точки зрения системного подхода электрооборудование автомобиля может быть представлено в виде ряда самостоятельных функциональных систем – электроснабжения, пуска, зажигания, освещения и сигнализации, информации и диагностирования, автоматического управления двигателем и трансмиссией и др. Среди них ведущую роль играет система электроснабжения, как снабжающая энергией все устройства-потребители автомобиля.

Помимо традиционных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей все большее применение получают литий-ионные батареи, топливные элементы, преобразующие энергию водорода в электрическую, а также источники, способные запасать электричество за счёт энергии торможения автомобиля (рекуперация) в молекулярных накопителях энергии (суперконденсаторах) и маховиках.

Следует отметить, что в последнее время появились существенные изменения как в функциональном использовании генераторов, так и в их схемном и конструктивном исполнениях. На генератор переносятся, в частности, функции управления двигателем внутреннего сгорания, управление временем разгона автомобиля и т. п.

Многие фирмы работают над созданием и внедрением автомобилей с гибридными силовыми установками – с совместной работой двигателя внутреннего сгорания и силового тягового электропривода.

Целью пособия является систематизация и актуализация сведений, касающихся систем электроснабжения современных автомобилей.

В результате изучения курса обучающийся должен:

- ***знать:***
  - основные понятия и определения в области генерации и хранения электрической энергии на борту транспортных средств;
  - принципы построения и функционирования систем электроснабжения, обеспечивающие снижение электрических потерь и выработку необходимого качества электроэнергии;
  - принцип работы, конструктивное исполнение, параметры и характеристики аккумуляторных батарей и генераторных установок;
  - требования к эксплуатацию и техническому обслуживанию аккумуляторных батарей и генераторных установок;

- ***уметь:***
  - – классифицировать системы электроснабжения транспортных средств по различным признакам;
  - – читать и разрабатывать принципиальные электрические схемы в соответствии со стандартами на их составление;
  - – подбирать необходимый тип аккумуляторных батарей и генераторных установок с учетом особенностей транспортных средств и условий их эксплуатации;
  - – оценивать техническое состояние аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств с применением диагностической аппаратуры и по косвенным признакам;
- ***владеть:***
  - – навыками использования в практической деятельности данных оценки технического состояния аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств;
  - – методами выявления неисправностей аккумуляторных батарей и генераторных установок транспортных средств;
  - – навыками разработки и поиска неисправностей в функциональных связях узлов, агрегатов и систем электроснабжения транспортных средств;
  - – методиками синтеза систем электроснабжения новых видов транспортных средств.

Автор выражает признательность рецензентам издания, замечания и пожелания которых позволили улучшить форму представления материала пособия:

- – доктору технических наук, доценту *Козловскому Владимиру Николаевичу*, заведующему кафедрой теоретической и общей электротехники ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»;
- – доктору технических наук, профессору *Васильеву Валерию Ивановичу*, заведующему кафедрой автомобильного транспорта и сервиса ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет».

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование автомобилестроения неразрывно связано с широким применением электротехнического оборудования, автоматических устройств и систем, объединённых в единый комплекс электрооборудования автомобилей. Электрооборудование современного автомобиля – сложная система, обеспечивающая автоматизацию рабочих процессов, безопасность движения и улучшение условий труда водителей. Развитие электрооборудования автомобилей тесным образом связано с развитием общей электротехники, электроники и автоматики.

Впервые электрическая энергия применена в двигателях внутреннего сгорания в 1860 г. для воспламенения горючей смеси. Источником электроэнергии являлся аккумулятор, изобретателем которого принято считать Алессандро Вольта (1745–1827), итальянского физика. Вольта расположил пластины из меди и цинка друг над другом в виде столба. Между пластинами он разместил пропитанные соляной кислотой куски картона или кожи. Получился ряд гальванических элементов, соединённых последовательно. Этот столб был первым источником тока для практического применения и известен как вольтов столб. После смерти Вольты единица измерения электрического напряжения получила наименование вольт.

Немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер (1776–1810) построил электрическую батарею в форме цилиндра, которая была названа в его честь столбом Риттера. Столб состоял из расположенных друг над другом медных дисков и проложенных между ними и пропитанных раствором NaCl (хлорид натрия, или поваренная соль) дисков из картона. Это устройство можно было заряжать электрическим током, а при разряде оно снова вырабатывало электрический ток. Поэтому столб Риттера считается прародителем современных аккумуляторов.

Ещё один немецкий физик Вильгельм Йозеф Зинштеден (1803–1891) разработал первый свинцовый аккумулятор. Он поместил две свинцовые пластины, которые не соприкасались друг с другом, в ёмкость с раствором серной кислоты и подсоединил к ним источник электрического напряжения. После многочисленных циклов зарядки и разряда конструкция приобрела определённую ёмкость.

Усовершенствовал конструкцию аккумулятора Зинштедена французский физик Гастон Раймон Луи Планте (1834–1889), придав свинцовым пластинам спиральную форму. Однако этот свинцовый аккумулятор так и остался лишь экспериментом.

Существенно модернизировал свинцовый аккумулятор французский инженер и физик Камиль Альфонс Фор (1840–1898). Фор покрыл обе стороны свинцовой пластины пастой из свинцового порошка и серной кислоты. Благодаря этому его свинцовый аккумулятор уже всего после нескольких циклов зарядки приобретал значительную ёмкость.

Люксембургский инженер и изобретатель Генри Оуэн Тюдор (1859–1928) довёл опытную модель свинцового аккумулятора до промышленной зрелости. Тюдор увеличил поверхность электродов и расположил их так, что ёмкость свинцового аккумулятора увеличилась, а срок его службы стал существенно большим. Он придал АКБ привычную сегодня форму ящика. В качестве электролита служил раствор серной кислоты. Отрицательный электрод состоял из свинца, а положительный – из двуокиси свинца. Тюдор изготовил формы для литья, которые позволили наладить промышленное производство свинцовых пластин для аккумуляторов. Он разработал первую, пригодную для технического применения свинцово-кислотную АКБ.

Однако никакая батарея или аккумуляторный элемент не может дать больше некоторого количества энергии, и изобретатели вскоре осознали, что нужен постоянный источник электрического тока.

Первым действительно успешным генератором стало детище немца Эрнста Вернера фон Сименса. Он создал свой генератор в 1867 г. и назвал его динамо-машиной. Сегодня термин «динамо» применяется только для генератора, который вырабатывает постоянный электрический ток, а термин «генератор» (от англ. *alternator*) подразумевает только машины переменного тока.

Эмиль Морс использовал электрическое зажигание, подключённое к цепи низкого напряжения, питаемой аккумуляторами, которые подзаряжались от динамо-машины, приводимой в движение ремённой передачей. Это была первая успешная зарядная система, которая может быть датирована примерно 1895 г.

Трехщёточный генератор, разработанный доктором Гансом Лейтнером и Р. Г. Лукасом, впервые появился примерно в 1905 г. Он дал водителю некоторую возможность управления системой подзаряда. По современным меркам это был очень крупный генератор, но он мог вырабатывать ток только около 8 А (рис. В 1).

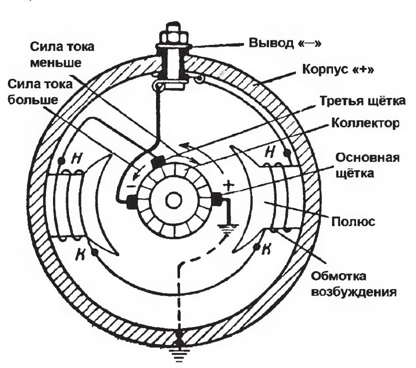


Рис. В 1. Схема трехщёточного генератора

В течение следующего десятилетия было опробовано много других технических приёмов, призванных решить проблему регулировки мощности при постоянно меняющейся скорости генератора.

Одной из идей была нагреваемая спираль в главной цепи питания, которая при нагреве увеличивала свое сопротивление и вынуждала электрический ток течь в обход неё через шунтирующую катушку, уменьшая поле подмагничивания динамо-машины.

Однако управление зарядкой батареи для всех этих систем постоянного тока было несовершенным, и часто на водителя возлагалась обязанность включать и выключать ток зарядки при достижении высокого и низкого предельных значений. По сути, одним из ранних устройств на приборной доске был указатель уровня электролита, чтобы контролировать состояние зарядки батареи.

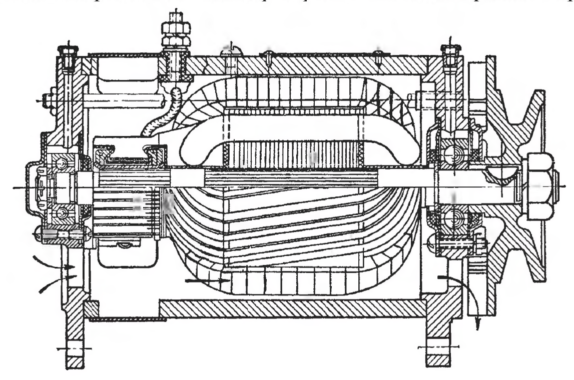


Рис. В 2. Генератор постоянного тока
(динамо-машина)

Двухщёточная динамо-машина (рис. В 2) и блок контроля напряжения с компенсацией были впервые использованы в 1930-х гг. Это дало значительно лучший контроль над процессом заряда и подготовило почву для возникновения многих других электрических систем.

Генератор переменного тока, впервые использованный в 60-е годы в США, к 1974 г. стал нормой и в Европе.

Большая доступная мощность и стабильность генератора переменного тока стали тем, чего именно и ждала электронная индустрия, и к 80-м годам электрические системы значительно изменились.

Дальнейшее совершенствование конструкции генераторов переменного тока было связано с применением более качественных изоляционных и полупроводниковых материалов, а также изменением конструктивного исполнения регуляторов напряжения.

Существенное изменение конструкции генераторов произошло на рубеже начала XXI века, когда появились так называемые компакт-генераторы, обладающие изменённой системой охлаждения, контактными кольцами, вынесенными за пределы задней крышки, и приводимые во вращение поликлиновым ремнём, допускающим большее передаточное отношение.

Взаимосвязь тенденций совершенствования генераторов и транспортных средств в целом с изменениями в конструкции генераторов представлена на рис. В 3.

Увеличение мощности потребителей связано с ростом числа агрегатов и систем автомобиля, отвечающих за безопасность движения, автоматизацию рабочих процессов, комфортабельность салона и т. д. Согласно [11], мировая тенденция роста мощности потребителей электроэнергии на борту автомобилей составляет 15–20 % за каждые 3–4 года, или по 100 Вт в год.

Генераторы фирмы Bosch серии EL содержат пять фаз, что позволило снизить толщину обмоточного провода, повысить число витков обмотки статора, а следовательно, и номинальную мощность. Пентаграммное соединение фаз способствовало снижению уровня шума и пульсаций выпрямленного напряжения. Также в генераторах данной серии выпрямительные диоды заменены полевыми транзисторами, что снизило потери напряжения и повысило коэффициент полезного действия (КПД) генераторов.

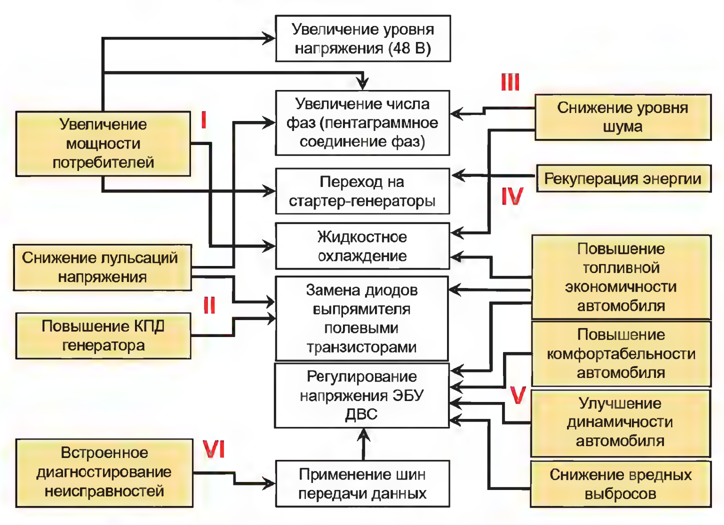


Рис. В 3. Тенденции совершенствования генераторов транспортных средств

Рост мощности генераторов при сохранении воздушного охлаждения ограничен величиной 3–4 кВт, поэтому ряд производителей (Audi, BMW) автомобили представительского класса штатно оборудуют генераторами жидкостного охлаждения, что улучшает теплоотвод, способствует снижению уровня шума и повышает коэффициент полезного действия.

Увеличение мощности потребителей приводит к увеличению сечения проводов, длина которых в современном автомобиле может достигать нескольких километров. Для снижения токов, циркулирующих в бортовой сети, необходимо увеличение напряжения бортовой сети. В настоящее время разработаны схемы перехода на напряжение 48 В, а в ряде случаев (автомобили Audi SQ7, Bentley Bentayga, Lamborghini Urus) такой переход частично реализован для ряда энергоёмких потребителей.

Дальнейшее увеличение мощности возможно при замене генераторов на устройства, совмещающие функции генерирования энергии и запуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) – стартер-генераторы. Применение подобных устройств позволяет использовать рекуперацию энергии – преобразование накопленной кинетической энергии в электрическую в процессе замедления и торможения автомобиля.

Многообещающие перспективы открывает передача функций регулирования напряжения электронному блоку управления (ЭБУ) двигателя внутреннего сгорания.

Встроенное диагностирование неисправностей становится возможным при соблюдении двух условий: передаче функций регулирования ЭБУ ДВС и связи этого блока с генератором посредством шины передачи данных (как правило, LIN-шины).

Таким образом, значительные изменения в конструкции систем электроснабжения автомобилей не отражены в учебной или методической литературе, поэтому разработанное пособие будет востребованным у широкой аудитории.

ГЛАВА 1.
ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

§ 1.1. Общие сведения

Система электроснабжения транспортной машины представляет собой совокупность устройств генерирования и распределения электроэнергии.

Подсистема генерирования электроэнергии включает в себя источники электроэнергии, устройства регулирования напряжения, защиты, управления и контроля, которые обеспечивают производство электроэнергии и поддержание её характеристик в заданных пределах во всех режимах работы системы. Система распределения электроэнергии состоит из устройств, передающих электроэнергию от системы генерирования к распределительным устройствам.

В транспортных машинах находят применение одноканальные и многоканальные системы электроснабжения. Применение многоканальных систем вызывается необходимостью питания электроэнергией приёмников с различным номинальным напряжением (6, 12 и 24 В), а также приёмников, требующих использования различного рода тока.

Все системы электроснабжения транспортных машин выполняются по однотипным принципиальным схемам на постоянном токе. Как правило, электрооборудование транспортных машин изготовляется по однопроводной схеме. В большинстве автомобилей отрицательные выводы источников и потребителей электроэнергии соединены с кузовом автомобиля. Это значит, что точка подсоединения лампы накаливания соединена с кузовом через провод. Кузов, в свою очередь, медным кабелем соединён с отрицательной клеммой аккумулятора. Поскольку данная система обходится только одним проводом (обратный отвод осуществляется через кузов), то речь идёт об однопроводной схеме. В технически целесообразных случаях могут быть применены двухпроводные системы электроснабжения, в которых от корпуса изолированы оба провода – положительный и отрицательный. Применение однопроводной схемы по сравнению с двухпроводной позволяет снизить массу электрической сети, уменьшить падение напряжения в линиях, упростить монтаж и эксплуатацию сети, так как падение напряжения в корпусе машины невелико. К недостаткам однопроводной схемы можно отнести повышенную вероятность коротких замыканий проводов на корпус.

Электрооборудование автомобиля включает в себя генератор как преобразователь энергии, одну или несколько аккумуляторных батарей и устройства-электропотребители. Энергия аккумуляторной батареи подаётся на стартер, который затем запускает двигатель автомобиля. Во время работы автомобиля на систему зажигания, систему впрыска топлива, блоки управления, системы обеспечения безопасности и комфорта, освещения и другое оборудование подаётся

питание от генератора, который, кроме этого, заряжает аккумуляторную батарею.

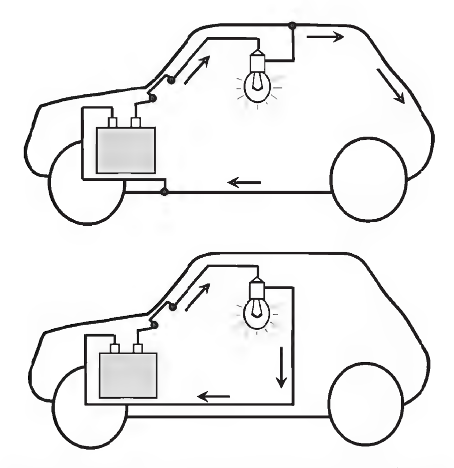


Рис. 1.1. Одно- и двухпроводная схема электроснабжения

Повышение требований к комфорту и безопасности приводит к значительному росту энергопотребления в бортовой сети. Кроме того, продолжается тенденция к электрификации все большего числа компонентов (например, регулировка сидений, электрический стояночный тормоз, электроусилитель рулевого управления). Номинальная мощность генераторов варьируется от 1,5 кВт в субкомпактном классе до более 5 кВт в представительском классе. Это меньше, чем в общей сложности требуется потребителям. Другими словами, аккумуляторная батарея тоже должна подавать электрическое питание во время работы автомобиля. Все компоненты должны быть рассчитаны таким образом, чтобы баланс заряда аккумуляторной батареи был всегда положительным или хотя бы равным потреблению.

Электропотребители имеют разную длительность включения. Различают:

– постоянные нагрузки: от потребителей, включённых всегда (электрический топливный насос, блок управления двигателем);
– длительные нагрузки: от потребителей, включаемых по мере необходимости и остающиеся включёнными в течение длительного времени (фары ближнего света, радиоприёмник, вентилятор радиатора);
– кратковременные нагрузки: от потребителей, включаемых лишь на короткое время (указатели поворотов, стоп-сигналы, электрорегулировка сидений, электростеклоподъёмники).

Потребности в электрической энергии не являются постоянными. Первые минуты после запуска двигателя обычно характеризуются большой потребляемой мощностью (обогрев заднего стекла, сидений, зеркал), после чего происходит резкое падение потребляемой мощности (см. рис. 1.2).

Эти потребители выключаются через несколько минут. Здесь требования к электрической нагрузке главным образом определяются постоянной и длительной нагрузкой.

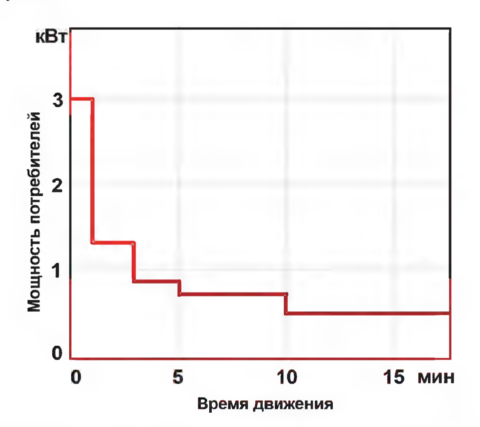


Рис. 1.2. Изменение мощности потребителей в процессе движения

Различным ЭБУ и потребителям требуется питание даже тогда, когда автомобиль стоит на стоянке. Безнагрузочный ток (ток утечки) составляется из общего тока этих включённых потребителей. Большинство этих потребителей выключаются вскоре после выключения двигателя (например, освещение салона). Некоторые же всегда остаются включёнными (например, система охранной сигнализации).

Безнагрузочный ток должен подаваться аккумуляторной батареей. Максимальное значение безнагрузочного тока определяется автопроизводителями. Расчёт параметров аккумуляторной батареи, помимо всего прочего, базируется и на этом значении.

Типичная величина безнагрузочного тока в легковом автомобиле составляет 3–10 мА.

§ 1.2. Принцип работы бортовой сети

Генератор подаёт электрический ток I_G (см. рис. 1.3) во время работы двигателя. Чтобы зарядить аккумуляторную батарею, генератор должен увеличить

напряжение в бортовой сети выше напряжения батареи с разомкнутым контуром. Однако генератор способен сделать это лишь тогда, когда включённые потребители не потребляют ток больше, чем генератор может создать. Если ток нагрузки оборудования Iv в бортовой сети больше тока генератора I_G (например, на холостых оборотах), то аккумуляторная батарея будет разряжаться. Напряжение в бортовой сети падает до уровня напряжения батареи, откуда потребляется ток.

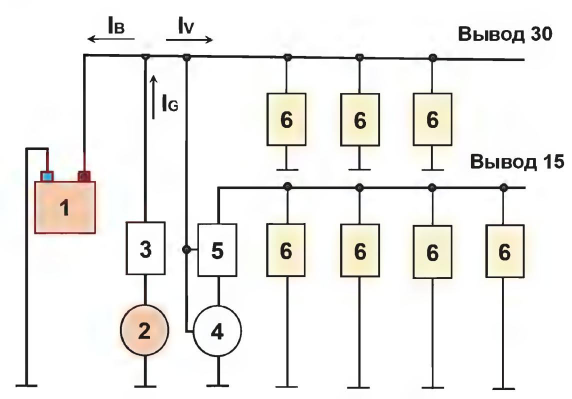


Рис. 1.3. Схема бортовой сети автомобиля:
1 – аккумуляторная батарея, 2 – генератор, 3 – регулятор напряжения, 4 – стартер, 5 – выключатель зажигания, 6 – потребители.
I_B – электрический ток аккумуляторной батареи, I_G – ток генератора, Iv – потребляемый ток оборудования

Максимальный ток генератора очень сильно зависит от оборотов и температуры генератора. На холостых оборотах генератор может давать лишь 55–65 % номинальной мощности. Однако сразу после холодного пуска зимой генератор начиная со средних оборотов способен подавать в бортовую сеть до 120 % своей номинальной мощности. Когда двигатель горячий, моторный отсек нагревается до 60–120 °С, в зависимости от окружающей температуры и нагрузки на двигатель. Высокая температура в моторном отсеке увеличивает сопротивление обмоток, что уменьшает максимальную мощность генератора.

Должно обязательно гарантироваться равновесие заряда батареи путём правильного подбора аккумуляторной батареи, генератора, стартера и другого электрооборудования, чтобы двигатель мог всегда запуститься и при выключенном двигателе можно было в течение достаточно долгого времени включать различные электропотребители.

Электрическую схему автомобиля можно представить как взаимодействие преобразователя энергии (генератора). аккумулятора энергии (аккумуляторной батареи) и потребителей (рис. 1.3).

Генератор приводится через клиновой ремень от коленчатого вала двигателя и преобразует механическую энергию в электрическую. Регулятор генератора ограничивает выходную мощность таким образом, чтобы не превышалось заданное регулятором напряжение (14,0–14,5 В).

Когда ключ вынут из замка зажигания, напряжение подаётся лишь на несколько потребителей (охранная сигнализация, радиоприёмник, дополнительный отопитель и пр.). Вывод, через который записываются эти потребители, называется «вывод 30» (постоянный плюс).

Прочие потребители подключаются к «выводу 15». Когда ключ зажигания находится в положении «зажигание ВКЛ», напряжение батареи подаётся на этот контакт и все потребители подключаются к питанию.

§ 1.3. Схемы бортовой сети

В большинстве автомобилей аккумуляторная батарея размещается в моторном отсеке. Однако большая аккумуляторная батарея (например, на 100 А·ч) занимает много места, и иногда, когда свободное пространство в моторном отсеке ограничено, её не удаётся туда установить. Ещё одним аргументом против установки аккумуляторной батареи в моторном отсеке является потенциально высокая окружающая температура. В качестве альтернативы аккумуляторную батарею можно устанавливать в багажном отделении или в салоне (например, под сиденьем переднего пассажира).

Расстояние между аккумуляторной батареей, установленной в моторном отсеке, и генератором меньше, чем когда аккумуляторная батарея устанавливается в багажном отделении. Это сказывается на повышенном сопротивлении проводов и непосредственно влияет на падение напряжения в них. Падение напряжения можно минимизировать посредством соответствующих сечений проводов и хорошего контакта.

На рис. 1.4 показаны условия для установки в моторном отсеке. Для аккумуляторной батареи, установленной в багажном отделении, требуются более длинные провода с дополнительным сопротивлением R_{L2} (рис. 1.5). Из-за большего падения напряжения зарядное напряжение аккумуляторной батареи, установленной в багажном отделении, будет меньше. Дополнительную разность напряжения, вызванную величиной R_{L2}, можно сбалансировать путём увеличения номинального напряжения генератора. Это увеличивает мощность генератора.

Возможность запуска зависит от напряжения, подаваемого на стартер. Чем выше это напряжение, тем выше обороты стартера при запуске. Из-за высокого пускового тока сопротивление проводов ключевым образом влияет на это напряжение. В случае, когда аккумуляторная батарея устанавливается в багажном отделении, провода между батареей и стартером оказываются длиннее, чем когда она устанавливается в моторном отсеке; соответственно, сопротивление

и падение напряжения выше. Запуск улучшается, когда аккумуляторная батарея устанавливается в моторном отсеке и когда провода между ней и стартером короткие.

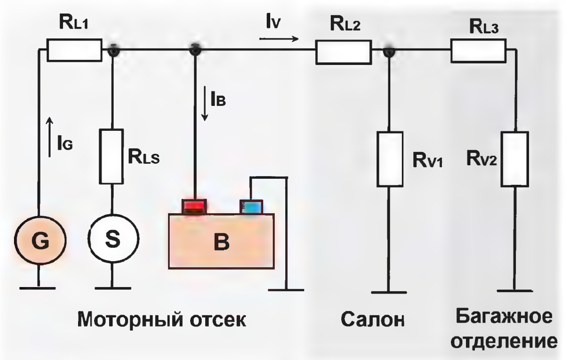


Рис. 1.4. Схема бортовой сети с установкой АКБ в моторном отсеке:
G – генератор, B – аккумуляторная батарея, S – стартер, R_L – сопротивления в линии, R_V – сопротивления оборудования, I_G – ток генератора, Iv - потребляемый ток оборудования, I_B – зарядный ток

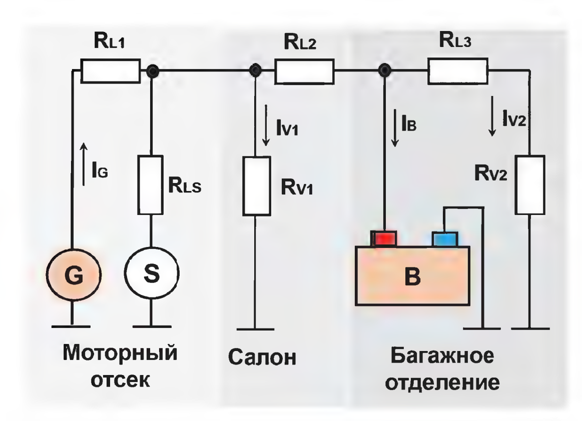


Рис. 1.5. Схема бортовой сети с установкой АКБ в багажном отделении:
G – генератор, B – аккумуляторная батарея, S – стартер, R_L – сопротивления в линии, R_V – сопротивления оборудования, I_G – ток генератора, Iv – потребляемый ток оборудования, I_B – зарядный ток

Высокая температура в моторном отсеке может вызвать температурно-зависимые изменения в аккумуляторной батарее (например, газообразование), что отрицательно сказывается на сроке службы батареи. Высокую температуру батареи можно уменьшить экранированием (тепловой кожух).

При низкой окружающей температуре аккумуляторной батарее, установленной в багажнике, требуется больше времени для достижения рабочей температуры. При слишком низкой температуре аккумуляторной батареи она плохо заряжается. Это, в свою очередь, приводит к нарушению зарядного баланса и низкому заряду, что ускоряет процесс старения батареи (происходит сульфатация).

Поскольку в батарее может аккумулироваться только постоянный ток, вырабатываемый генератором переменный ток необходимо выпрямить. Эта операция выполняется диодным выпрямителем, встроенным в генератор. Выпрямление переменного тока создаёт пульсирующее напряжение постоянного тока. Кроме того, переключение диодов – когда ток коммутируется с одного диода на следующий – создаёт высокочастотные колебания напряжения, которые сглаживаются, насколько это возможно, помехоподавляющим конденсатором.

Скачки или пульсации напряжения могут нарушить работу или даже вызвать повреждение электронных потребителей (например, ЭБУ). Аккумуляторная батарея может использовать свою большую ёмкость для сглаживания колебаний напряжения. Однако из-за сопротивления проводов R_L между генератором и батареей они не полностью подавляются в генераторе. Когда потребители подключаются со стороны батареи (рис. 1.6) или после батареи, на них подаётся хорошо сглаженное напряжение бортовой сети. Когда потребители подключаются со стороны генератора, то есть непосредственно к генератору (рис. 1.7), имеют место более сильные пульсации и скачки напряжения.

Таким образом, электропотребители, характеризуемые высоким потреблением тока и относительно нечувствительные к перенапряжению, должны подсоединяться со стороны генератора, а нагрузка, чувствительная к напряжению с низкими токами потребления, должна подсоединяться со стороны аккумуляторной батареи.

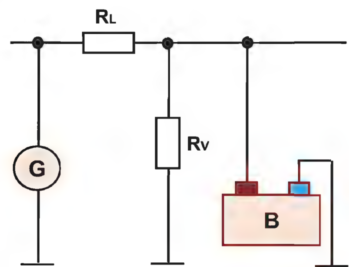


Рис. 1.6. Схема подключения потребителей со стороны генератора:
S – генератор, B – аккумуляторная батарея, R_L – сопротивление линии, R_v – сопротивление потребителей

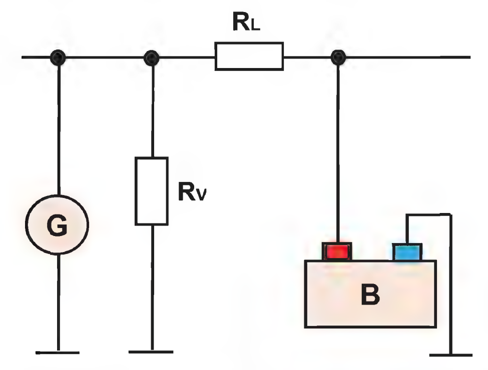


Рис. 1.7. Схема подключения потребителей со стороны батареи:
S – генератор, B - аккумуляторная батарея, R_L – сопротивление линии, R_v – сопротивление потребителей

§ 1.4. Система управления электрической энергией

Одной из главных целей автопроизводителей является сокращение расхода топлива и выбросов парниковых газов, в частности CO_2. Она достигается путём оптимизации потоков энергии в автомобилях. Оптимизация включает в себя:

- снижение потерь на холостых оборотах с помощью функции «старт – стоп» (автоматическое выключение и запуск двигателя, например на светофоре);
- повышение эффективности выработки электроэнергии путём оптимизации генератора и интеллектуальной активации генератора (рекуперации);
- аксессуары с электроприводом для упрощения активации путём изолирования от ДВС.

Дополнительные функции, обеспечивающие комфорт, и аксессуары с электроприводом повышают энергопотребление; одновременно снижается диапазон скоростей для выработки электроэнергии (например, из-за эксплуатации в режиме «старт – стоп»). Новые обеспечивающие комфорт функции и функции безопасности (например, электроусилитель руля, электрический насос охлаждающей жидкости, дополнительный отопитель, электрический климат-контроль в автомобилях с функцией «старт – стоп») требуют дополнительную электрическую мощность в таком количестве, что имеет смысл интеграция системы управления электроэнергией (EEM).

Система управления электрической энергией (EEM) координирует во время движения согласованность генератора, аккумуляторной батареи и электрических потребителей. Если транспортное средство стоит, система EEM следит за батареей и выключает потребителей во время остановки, как только заряд аккумуляторной батареи достигнет критического предельного значения. Система EEM регулирует общий энергетический баланс. Она сравнивает требования к мощности потребителей с предложением мощности бортовой сети и обеспечивает в среднем равновесие между эффективностью и отдачей мощности.

В основе системы EEM лежит управление батареей. Целью управления батареей является передача в систему EEM информации о фактическом состоянии батареи и об ожидаемых электрических характеристиках. С помощью данной информации можно использовать стратегии повышения готовности транспортного средства, а также повышения экономичности.

Система управления батареей передаёт системе EEM значения, относящиеся к батарее, например состояние заряженности (state of charge, SOC), состояние исправности (state of health, SOH) и состояние функционирования батареи (state of function, SOF). Значение SOF представляет собой прогноз того, как батарея реагирует на заданный профиль нагрузки, например, сможет ли быть выполнен старт при действующей на данный момент степени заряженности батареи.



Рис. 1.8. Управление электроэнергией на автомобиле

Данные значения рассчитываются посредством комплексных, основанных на моделях алгоритмов на основании измерения тока и температуры батареи.

С помощью данных о батарее система EEM может определить оптимальное зарядное напряжение и сократить нагрузку бортовой сети при ослабевающей эффективной мощности (отключить потребитель) и/или усилить эффективность (например, увеличить частоту вращения при холостом ходе).

Если эффективность батареи уменьшается, несмотря на выполненные действия, ниже заданного порогового значения, система EEM может послать водителю предупреждение о том, что определённые функции (например, пуск двигателя) невозможны при текущей степени заряженности батареи.

1.4.1. Управление током без нагрузки

Датчик аккумуляторной батареи регулярно контролирует её состояние и, соответственно, возможность запуска двигателя. С помощью точного распознавания состояния аккумуляторной батареи можно оптимизировать готовность потребителей посредством управления с током без нагрузки, то есть максимизировать время работы функций комфорта. В случае временной невозможности запуска двигателя система управления электроэнергией может, например, отправить сообщение на дисплей. Кроме того, при угрозе невозможности запуска двигателя система управления электроэнергией уменьшает энергопотребление (например, путём уменьшения потребляемой мощности вентилятора кондиционера) вплоть до выключения отдельных потребителей, чтобы как можно дольше сохранить возможность запуска двигателя. Примеры таких потребителей – дополнительный отопитель, информационно-развлекательная система, система навигации, радиоприёмник и телефон.

1.4.2. Управление энергией во время работы двигателя

Управление энергией при работающем генераторе, в дополнение к управлению нагрузкой, представляет собой управление генератором, включая функцию рекуперации, и интерфейс системы управления энергией и других систем – например, системы управления двигателем.

Система управления нагрузкой координирует включение и выключение потребителей с целью уменьшения пиков мощности. Система управления нагрузкой также участвует в управлении высокоэффективными системами отопления (обогрев ветрового стекла и вспомогательный отопитель на резисторах с положительным температурным коэффициентом).

При эксплуатации автомобиля обеспечение возможности запуска двигателя также является главной функцией системы управления энергией. При критических состояниях аккумуляторной батареи система управления нагрузкой уменьшает потребляемую электрическую мощность, чтобы как можно быстрее подзарядить аккумуляторную батарею. Обеспечивающие комфорт потребители резервуарного типа (системы отопления) переключаются приоритетно, так как интеллектуальное включение можно использовать для как можно более длительного недопущения ощутимых отклонений от номинальных характеристик.

Существуют пределы отключения функций комфорта в том плане, что оно будет допускаться пользователем только в исключительных ситуациях. Поэтому электрическая система автомобиля должна настраиваться таким образом, чтобы данные ситуации возникали редко. О заметных последствиях пользователь должен быть оповещён, чтобы он мог определить отклонение характеристик от нормы.

1.4.3. Увеличение выходной мощности генератора

В качестве альтернативы или дополнения к уменьшению потребляемой мощности можно за счёт увеличения оборотов двигателя увеличить выработку электроэнергии генератором (например, увеличить холостые обороты или деактивировать выключение двигателя в режиме «старт – стоп»). Например, чтобы увеличить холостые обороты, система управления электроэнергией по шине передачи данных отправляет запрос системе управления двигателем. Эти меры непосредственно влияют на расход топлива и акустику, и поэтому должны оптимально адаптироваться к конкретному автомобилю.

В процессе рекуперации кинетическая энергия автомобиля как минимум частично преобразуется в электрическую и накапливается в аккумуляторной батарее. Для этого требуется генератор, управляемый через интерфейс для ввода нужного рабочего напряжения, и датчик для определения состояния аккумуляторной батареи. Саму функцию можно условно разделить на электронику двигателя, интерфейс или компьютер.

Во время движения накатом напряжение увеличивается, чтобы генератор более интенсивно заряжал аккумуляторную батарею. В этот момент электроэнергия вырабатывается без расхода топлива. В ситуациях с плохой эффективностью выработки электроэнергии напряжение генератора уменьшается, и аккумуляторная батарея снова медленно разряжается, чтобы минимизировать расход топлива на выработку электроэнергии.

Полностью заряженная аккумуляторная батарея не может накапливать заряд. По этой причине рекуперация возможна лишь с частично заряженной аккумуляторной батареей (частичное состояние заряда, PSOC). Это отступление от традиционной стратегии зарядки, цель которой – достижение как можно более полного заряда аккумуляторной батареи. Минимальное состояние аккумуляторной батареи, необходимое для запуска двигателя, ни при каких обстоятельствах не должно быть хуже, то есть текущее состояние аккумуляторной батареи должно быть известно системе управления энергией.

Рекуперация приводит к росту циклических колебаний заряда аккумуляторной батареи, влияние которых на старение аккумуляторной батареи должно проверяться в каждом конкретном случае. Поэтому рекомендуется использование аккумуляторной батареи с поглощающим стеклянным матом (AGM) для повышения ресурса работы (ресурс работы при рекуперации может снижаться относительно номинального почти в три раза).

Алгоритм рекуперации должен учитывать влияние изменений напряжения на потребителей, поскольку они могут быть значительны (например, изменение скорости вентилятора кондиционера или световых вспышек).

Рекуперация обеспечивает экономию топлива в пределах 1–4 %, в зависимости от цикла и конфигурации функции.

1.4.4. Распознавание состояния аккумуляторной батареи и управление ею

Ключевым элементом в управлении электроэнергией является система распознавания состояния аккумуляторной батареи (BSR), надёжно вычисляющая возможности батареи. В алгоритмах распознавания состояния аккумуляторной батареи в качестве вводных переменных обычно используются измеренные ток, напряжение и температура аккумуляторной батареи На основе этих переменных определяются состояние заряженности (SOC), состояние функционирования (SOF) и состояние исправности (SOH) аккумуляторной батареи, которые передаются в качестве вводных переменных системе управления энергией (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Система определения состояния аккумуляторной батареи:
EEM – система управления электроэнергией, BSR – система определения состояния аккумуляторной батареи, EBS – электронный датчик аккумуляторной батареи, SOC – состояние заряда, SOH – физическое состояние, SOF – состояние функционирования, U – напряжение аккумуляторной батареи, I – ток аккумуляторной батареи, T – температура аккумуляторной батареи

Состояние заряда (SOC) аккумуляторной батареи – один из наиболее важных параметров в электрической системе автомобиля. Его можно определить как отношение объёма, имеющегося в аккумуляторной батарее заряда

(текущего состояния заряда), к максимальному объёму заряда, которое может аккумулировать новая аккумуляторная батарея

$$SOC = \frac{Q_{act}}{Q_{max}}. \quad (1.1)$$

Значение Q_{max} получается при разрядке полностью заряженной аккумуляторной батареи с разрядным током I_{20} и соответствует одной двадцатой от номинальной ёмкости в амперах (5 А для аккумуляторной батареи ёмкостью 100 А·ч) – до достижения уровня напряжения 10,5 В. Величина заряда, потерянного во время разрядки, соответствует Q_{max}. Поскольку таким образом значение Q_{max} можно получить только одним измерением, его можно также часто определить по номинальной ёмкости аккумуляторной батареи, указываемой на этикетке, где $Q_{max} = C_{20}$ (номинал).

Накопленный заряд Q_{act} получается из разности между Q_{max} и количеством заряда, потраченного при разряде полностью заряженной аккумуляторной батареи. Таким образом, состояние заряда АКБ можно просто определить через Q_{act}.

Состояние заряда аккумуляторной батареи непосредственно связано с плотностью электролита, где установившееся напряжение аккумуляторной батареи пропорционально плотности электролита. Окончательное напряжение, получаемое после зарядки или разрядки аккумуляторной батареи, называется *установившимся напряжением*. Процесс достижения установившегося напряжения из-за медленной диффузии и поляризации в АКБ может занимать несколько дней. Установившееся напряжение измеряется на клеммах аккумуляторной батареи.

Состояние заряда можно определить по формуле

$$SOC = \frac{(U_{current} - U_{min})}{(U_{max} - U_{min})}, \quad (1.2)$$

где $U_{current}$ – текущее установившееся напряжение, В;

U_{max} – установившееся напряжение полностью заряженной аккумуляторной батареи (SOC = 100 %);

U_{min} – установившееся напряжение аккумуляторной батареи при SOC = 0 %.

Таким образом, можно определить состояние заряда по измеренному установившемуся напряжению.

Аккумуляторные батареи подвержены старению. Различные эффекты старения вызывают потерю способности накапливать номинальный заряд и потерю ёмкости. Ещё один эффект имеет место, когда аккумуляторные батареи разряжаются большими токами, возникают потери напряжения из-за высокого внутреннего сопротивления по сравнению с новыми аккумуляторными батареями. Этот феномен выражается состоянием исправности аккумуляторной батареи (SOH).

Для оценки аккумуляторной батареи её работа выражается определённой характеристикой электрического тока, которая может соответствовать, например, запуску двигателя. Новая аккумуляторная батарея подвергается нагрузке

при идентичных условиях (температура, разрядный ток). Эта аккумуляторная батарея может использоваться для определения значения SOH. Через определённое время t_0 напряжение АКБ падает до значения U_{new}. Значение напряжения у более старой аккумуляторной батареи через время t_0 составит U_{min}. SOH определяется по формуле

$$SOH = \frac{(U_{min} - U_1)}{(U_{new} - U_1)}, \tag{1.3}$$

где U_1 – допустимое напряжение, В.

У новой аккумуляторной батареи SOH = 1. При S0H = 0 напряжение аккумуляторной батареи едва достигает порогового значения U_1. При S0H < 0 аккумуляторная батарея непригодна для использования.

Во время работы значение SOH само по себе не может указывать на то, что аккумуляторная батарея все ещё в состоянии выполнять свои функции. Причина в том, что SOC, SOH и температура могут компенсировать друг друга. Маленькое значение SOC допустимо для новой аккумуляторной батареи с большим SOH, в то время как маленькое SOH у старой аккумуляторной батареи может быть скомпенсировано высоким уровнем заряда (SOC).

Способность аккумуляторной батареи выполнять требуемые функции в своём текущем состоянии (то есть текущем состоянии SOC, SOH и температуры) описывается *состоянием функционирования* (SOF). Этот параметр сочетает значения SOC и SOH и температуру. SOF определяется аналогично SOH. Параметры SOC, SOH и температура служат для прогнозирования способности аккумуляторной батареи выполнять свои функции в текущем состоянии. С другой стороны, SOH лишь применяется к определённым значениям SOC и температуры и поэтому является количественным параметром, характеризующим аккумуляторную батарею.

$$SOF = \frac{(U_{min} - U_1)}{(U_{new} - U_1)}. \tag{1.4}$$

Это значение SOF применяется к текущим значениям SOC, SOH и температуры.

На рис. 1.10 показана качественная зависимость SOF от SOC и SOH при данной температуре. Значение SOC, изменяющееся при разряде с 1 до 0, отображается на оси *x*. На оси *y* показано значение SOH, которое у новой аккумуляторной батареи равно 1. На этой схеме видно, что в определённых пределах старение аккумуляторной батареи (маленькое SOH) может компенсироваться более высоким SOC.

Для измерения параметров аккумуляторной батареи используется датчик, напрямую измеряющий ток и напряжение аккумуляторной батареи. Температура аккумуляторной батареи определяется посредством измерения температуры рядом с батареей, так как прямое измерение температуры электролита требует вмешательства в батарею, что в данном случае невозможно.

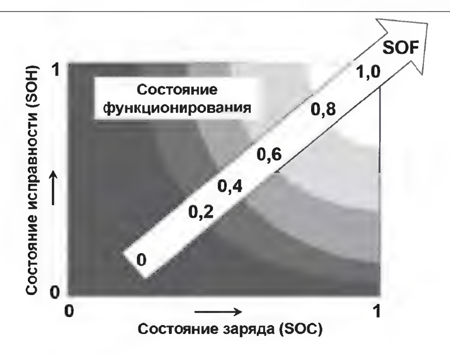


Рис. 1.10. Качественные зависимости значения SOF

Примером распознавания состояния аккумуляторной батареи может служить определение возможности запуска двигателя по значению SOF. Значение SOF позволяет прогнозировать поведение аккумуляторной батареи, отдающей пусковой ток. Другими словами, система распознавания состояния аккумуляторной батареи определяет падение напряжения для данной характеристики пускового тока. Поскольку минимальное напряжение для успешного запуска двигателя известно, то прогнозируемое падение напряжения позволяет оценить возможность запуска на данный момент. В зависимости от интервала между прогнозируемым падением напряжения и порогом возможности запуска двигателя система управления энергией определяет меры по сохранению или улучшению запуска.

1.4.5. Датчик аккумуляторной батареи

Ток, напряжение и температура аккумуляторной батареи должны измеряться очень точно, динамично и синхронно. В частности, измерение тока от нескольких миллиампер до пусковых токов более 1000 А предъявляет серьёзные требования к датчикам. На выводы аккумуляторной батареи устанавливается электронный датчик аккумуляторной батареи (EBS) (см. рис. 1.11).

Ток измеряется с помощью специального манганинового шунта. Сердцем электронной части датчика аккумуляторной батареи является специализированная интегральная схема, в которой, помимо прочего, имеется мощный микропроцессор для регистрации и обработки измеренных значений. Алгоритмы распознавания состояния аккумуляторной батареи также обрабатываются этим микропроцессором. Сообщение с ЭБУ более высокого уровня происходит по шине LIN.

Датчик тока батареи автомобилей Toyota и его выходная характеристика представлены на рис. 1.12.



Рис. 1.11. Датчик аккумуляторной батареи компании Bosch



Выходное напряжение [В]

5

0

-100 0 100

Сила тока, А

Рис. 1.12. Датчик тока батареи компании Toyota
и его выходная характеристика

АКБ в автомобилях с конвейера заряжены до SOC >80 %. Но поскольку между производством автомобиля и его отправкой покупателю проходит несколько дней, а то и недель, АКБ в этот период времени разряжаются. На автомобилях BMW существует возможность отображения степени заряда АКБ при перевозке нового автомобиля. При активированном режиме производства или транспортировки генерируется сообщение системы автоматической диагностики, которое позволяет легко проверить состояния АКБ (см. таблицу 1.1).

Помимо определения состояния аккумуляторной батареи для системы управления энергией датчик аккумуляторной батареи можно использовать и для других функций. Точное измерение тока и напряжения можно также использовать, например, для оперативной диагностики в производственных цехах и ремонтных мастерских (выявление безнагрузочных неисправных потребителей).

Таблица 1.1

Индикация состояния аккумуляторной батареи

Состояние аккумуляторной батареи	Индикация в комбинации приборов	Звуковой сигнал	Действие
Состояние аккумуляторной батареи в пределах нормы; SOC от 60 до 100 %	OK	Отсутствует	Не требуется никаких действий
Аккумуляторная батарея разряжена; SOC от 35 до 60 %		Отсутствует	Зарядить АКБ
Аккумуляторная батарея полностью (глубоко) разряжена; SOC менее 35 %		Двойной гонг	Заменить АКБ

1.4.6. Блок управления для контроля аккумуляторной батареи

Модуль данных аккумулятора измеряет с помощью технических устройств следующие величины:

– ток зарядки/разрядки АКБ;
– напряжение АКБ;
– температуру АКБ.

Эти три измеренные величины, а также другая информация, поступающая в модуль от диагностического интерфейса по шине LIN, используются для распознавания состояния АКБ. Программное обеспечение рассчитывает фактическое

состояние АКБ и при необходимости отправляет полученную информацию на LIN-ведущий блок, диагностический интерфейс шин данных.

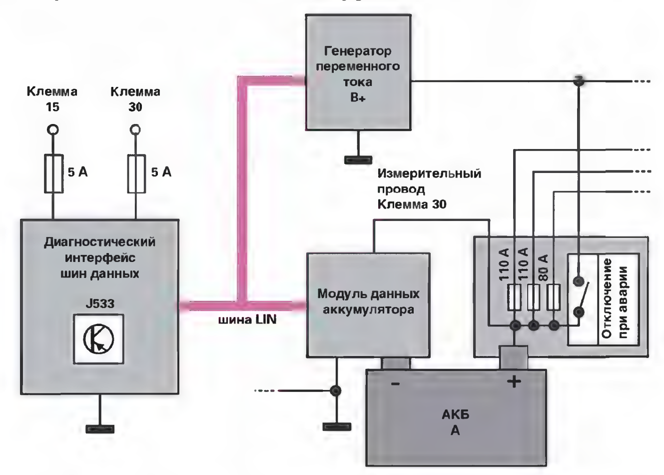


Рис. 1.13. Структурная схема блока управления для контроля аккумуляторной батареи

Модуль данных аккумулятора измеряет с помощью технических устройств следующие величины:

– ток зарядки/разрядки АКБ;
– напряжение АКБ;
– температуру АКБ.

Эти три измеренные величины, а также другая информация, поступающая в модуль от диагностического интерфейса по шине LIN, используются для распознавания состояния АКБ. Программное обеспечение рассчитывает фактическое состояние АКБ и при необходимости отправляет полученную информацию на LIN-ведущий блок, диагностический интерфейс шин данных.

Функции распознавания состояния АКБ

Распознавание состояния АКБ в модуле данных аккумулятора осуществляет расчёт следующих величин, передаваемых на диагностический интерфейс шин данных по шине LIN:

– диагностика состояния «АКБ отключена»: если на протяжении более 30 с модуль данных не распознаёт АКБ, то устанавливается соответствующий бит;
– напряжение, с помощью которого в данный момент можно оптимально зарядить АКБ;

– бит «возможность запуска двигателя». Показывает, достаточно ли фактической зарядки АКБ для запуска двигателя или нет;
– насколько ещё можно зарядить АКБ, чтобы достичь уровня, достаточного для запуска двигателя;
– фактический уровень зарядки АКБ;
– старение АКБ. Старение АКБ можно определить по её способности сохранять энергию и по фактической работоспособности АКБ:
– напряжение покоя АКБ;
– внутреннее сопротивление АКБ.

Устройство модуля данных аккумулятора

Основным элементом модуля является вычислительный блок, который рассчитывает три основных величины и осуществляет связь с диагностическим интерфейсом.

Измерение тока аккумулятора осуществляется на минусовой клемме АКБ, к которой подсоединён модуль данных АКБ. Общий ток к минусовой клемме АКБ подаётся через модуль данных АКБ, точнее говоря, через сопротивление шунта. Сопротивление шунта исчисляется в миллиомах. Значение этого сопротивления должно быть настолько малым, чтобы поддерживать потери мощности и тем самым тепловыделение на возможно более низком уровне.

Напряжение на сопротивлении шунта пропорционально току. Вычислительный блок измеряет это напряжение и на основании этого рассчитывает величину подаваемого на АКБ тока.

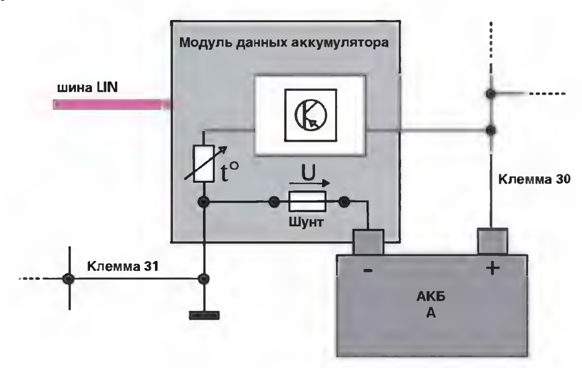


Рис. 1.14. Устройство модуля данных аккумулятора

Напряжение измеряется непосредственно на плюсовой клемме АКБ. Измерительный провод подключается между плюсовой клеммой и модулем данных АКБ.

Для измерения температуры АКБ служит NTC-термозонд модуля данных АКБ. Поскольку модуль данных АКБ закреплён непосредственно на АКБ, данные температуры АКБ, измеренной NTC-термозондом модуля с последующей обработкой данных при помощи программного обеспечения, являются точными.

§ 1.5. Стабилизация напряжения бортовой сети

В автомобилях с системой «старт – стоп» многочисленные запуски двигателя создают большую нагрузку для аккумуляторной батареи, в результате чего её напряжение при запуске двигателя может опускаться ниже 12 В.

Чтобы избежать дискомфортных ситуаций для водителя и пассажиров при запуске двигателя, на автомобилях с системой «старт – стоп» устанавливается стабилизатор напряжения (преобразователь DC/DC – трансформатор постоянного тока). Это устройство, используя имеющееся напряжение бортовой сети, создаёт для некоторых выбранных потребителей электроэнергии стабилизированное напряжение питания во время запуска двигателя.

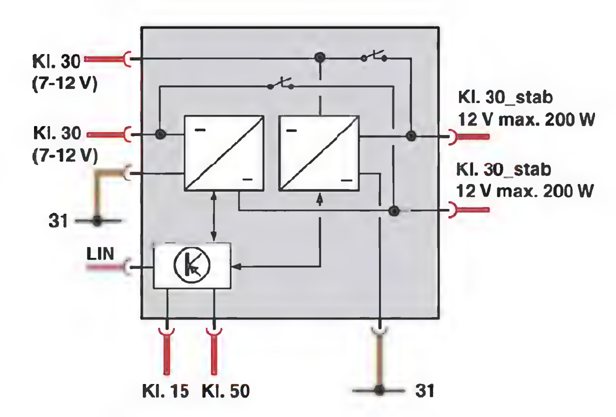


Рис. 1.15. Принципиальная схема стабилизатора напряжения

Среди подключённых к нему потребителей находятся, например:
- комбинация приборов,
- ТВ-тюнер,
- камера заднего вида,
- блок управления информационной электронной системы,
- усилитель (звуковой).

При работе стабилизатора напряжения принципиально различаются два состояния: «активен» и «не активен».

Состояние «активен»

При включении зажигания (напряжение на клемме 15, вход) стабилизатор напряжения переходит в состояние «активен», которое подразделяется, в свою очередь, на два состояния – «готовность» и «стабилизация».

Состояние «готовность»

Клемма 30 всё ещё гальванически замкнута на выход. На провод шины LIN подаётся сигнал статуса «готовность».

Состояние «стабилизация»

При пуске двигателя (напряжение на клемме 50, вход) стабилизатор напряжения переходит из состояния «готовность» в состояние «стабилизация». Если после начала запуска двигателя напряжение на клемме 30, вход, упадёт ниже 12 В, устройство начнёт стабилизировать напряжение, то есть поддерживать на клемме 30_stab постоянное напряжение 12 В.

При этом напряжение стабилизируется независимо от того, был ли запуск двигателя инициирован системой «старт – стоп» или же ключом зажигания. На разъём шины LIN выдаётся сигнал статуса «стабилизация».

Состояние «не активен»

При выключенном зажигании (напряжение на клемме 15, вход, отсутствует) стабилизатор напряжения находится в состоянии «не активен».

Вход клеммы 30 и выход клеммы 30_stab в состоянии «не активен» гальванически замкнуты (сопротивление между ними мало).

Изменение состояния

В конце процесса запуска (но ещё при наличии напряжения на клемме 15, вход) и при отсутствии сбоев в работе стабилизатор напряжения возвращается в состояние «готовность».

При выключенном зажигании (напряжение на клемме 15, вход, отсутствует) стабилизатор переходит в состояние «не активен».

§ 1.6. Бортовая сеть с двумя батареями

При исполнении батареи транспортного средства, которое позволяет питать как стартер, так и другие потребители в бортовой сети, необходимо искать компромисс между различными требованиями. Во время пуска батарея нагружается высоким током (300–500 А). Связанное с этим падение напряжения негативно влияет на определённые потребители (например, приборы с микроконтроллерами) и поэтому должно быть как можно меньше. Во время движения, напротив, протекают сравнительно небольшие токи; для надёжного энергоснабжения решающей является ёмкость батареи. Оба свойства – номинальную мощность и ёмкость – нельзя оптимизировать одновременно.

Если бортовая сеть включает две батареи (пусковая батарея и батарея снабжения), функции батареи «подготовка мощности для запуска» и «питание бортовой сети» разделяются с помощью блока управления бортовой сети, для того

чтобы предотвратить падение напряжения и обеспечить запуск непрогретого двигателя, даже если степень заряженности батареи незначительна.

Пусковая батарея должна отдать значительный ток в течение ограниченного времени (во время пуска). Поэтому она разработана для высокой удельной мощности (большая мощность при незначительном весе). Поскольку её объем невелик, её можно установить в непосредственной близости от стартера, с которым она будет соединена с помощью короткого провода.

Сетевая аккумуляторная батарея предназначена исключительно для бортовой сети (без стартера). Она поставляет ток для питания потребителей бортовой сети (например, приблизительно 20 А для управления двигателем), но при этом склонна к циклизации. Она может предоставлять большие объёмы энергии и аккумулировать их. Размеры батареи определяются главным образом в зависимости от необходимых резервов мощности для подключённых потребителей при выключенном двигателе (потребитель тока покоя, например стояночный огонь, аварийный световой сигнал, иммобилайзер) и допустимой степени разрядки.

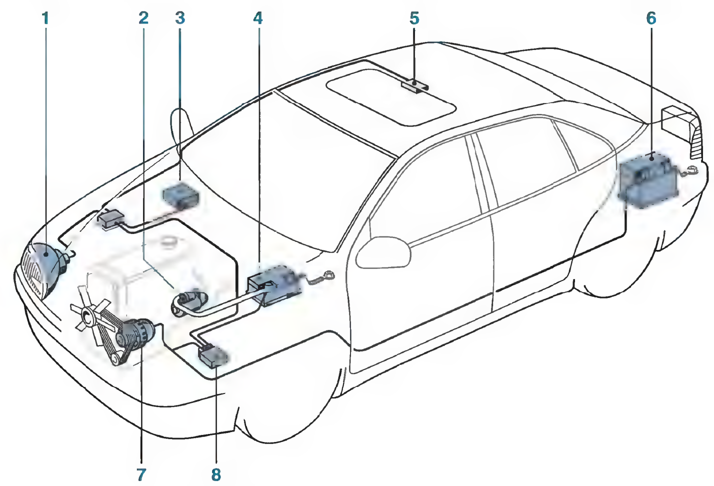


Рис. 1.16. Размещение двух батарей на автомобиле:
1 – система освещения (бортовая сеть), 2 – стартер,
3 – блок управления двигателем (бортовая сеть),
4 – пусковая аккумуляторная батарея,
5 – прочие потребители бортовой сети (например, устройство приведения в действие сдвижной панели крыши),
6 – сетевая аккумуляторная батарея,
7 – генератор, 8 – ЭБУ электрической энергией

Блок управления бортовой сети (BN-SG) с двумя аккумуляторными батареями отсоединяет пусковой аккумулятор и стартер от остальной бортовой сети, пока её работа в достаточной степени обеспечивается батареей питания. Таким образом предотвращается воздействие спада напряжения в бортовой сети при пуске. При неработающем двигателе данный блок предотвращает разрядку пусковой батареи подключёнными потребителями.

При отсоединении стороны пуска от обычной бортовой сети на стороне пусковой батареи практически не возникает ограничений для уровня напряжения. Вследствие этого можно оптимально подогнать зарядное напряжение к батарее стартера, в результате чего продолжительность зарядки сокращается.

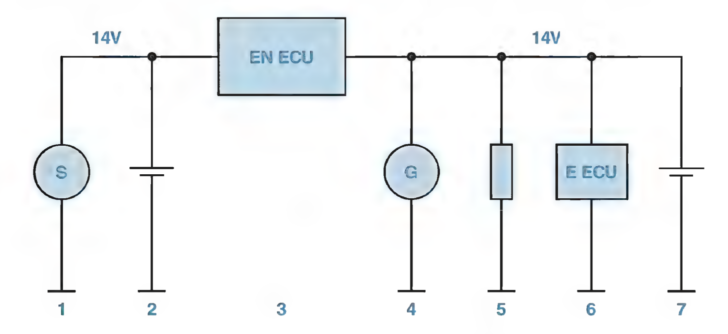


Рис. 1.17. Схема электроснабжения с двумя батареями:
1 – стартер, 2 – пусковая батарея, 3 – блок управления бортовой сети, 4 – генератор, 5 – потребитель, 6 – блок управления двигателем, 7 – сетевая батарея, S – стартер, G – генератор

При разряженной сетевой батарее блок управления способен временно объединить обе области бортовой сети и таким образом организовать питание бортовой сети от заряженной пусковой батареи. При ещё одном типе исполнения для пуска блок управления подключает к заряженной батарее только потребители, относящиеся к пуску.

§ 1.7. Бортовые сети грузовых транспортных средств

Различные тяжёлые грузовые автомобили имеют смешанную систему 12/24 В, то есть напряжение питания может переключаться между 12 и 24 В. В таких системах генератор разработан для производства напряжения, а электрические компоненты (за исключением стартера) – для номинального напряжения 12 В. Стартер. наоборот, предназначен для номинального напряжения 24 В. Таким образом достигается отдача мощности, которая требуется, например, для пуска больших дизельных двигателей.

Система состоит из двух батарей с напряжением 12 В, которые включены параллельно при нормальном режиме движения и при выключенном двигателе. Напряжение при параллельном включении не меняется, бортовая сеть питается напряжением 12 В. Общая ёмкость обеих батарей является суммой отдельных ёмкостей.

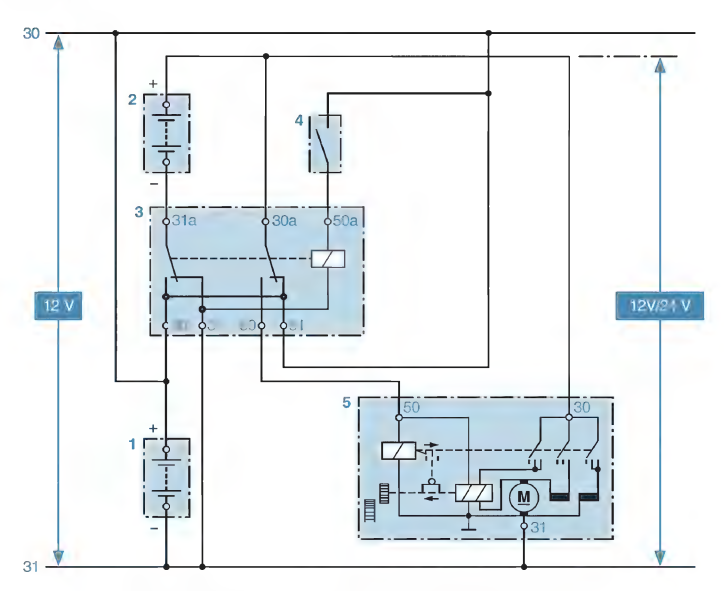


Рис. 1.18. Схема системы пуска с реле переключения батарей:
1 – первая батарея, 2 – вторая батарея,
3 – реле переключения батарей,
4 – выключатель зажигания,
5 – стартерный двигатель (24 В)

При приведении в действие выключателя зажигания реле переключения батареи автоматически включает обе батареи последовательно – таким образом, во время пуска на клеммах стартера присутствует напряжение 24 В. Все прочие потребители в то же время запитываются напряжением 12 В.

После завершения пуска, то есть после отключения выключателя зажигания и стартера, реле переключения батареи вновь включает батареи параллельно.

Во время работы двигателя 12-вольтный генератор вновь заряжает обе батареи.

Ёмкости двух параллельно включённых батарей должны быть одинаковыми для достижения равномерного распределения тока при зарядке и разрядке. Также включение батарей должно быть симметричным, то есть соединительные кабели должны иметь одинаковые длину и сечение.

1.7.1. Компоненты бортовой сети

Описанные компоненты иногда используются в бортовой сети легковых транспортных средств, но редко и в качестве дополнительного оборудования.

Электрическое устройство в транспортном средстве имеет такое исполнение, что после удаления ключа выключателя зажигания электрические провода обесточиваются отданного переключателя, например. от блока зажигания, блоков управления (система Motronic, ABS), вплоть до стеклоочистителей.

Провода к стартеру, выключателю зажигания и выключателю освещения остаются под напряжением. Механическое повреждение изоляции в данных проводах может снизить сопротивление и вызвать токи утечки или замыкание.

Следствием этого являются разряженная батарея или, возможно, даже воспламенение. С помощью выключателя батареи можно полностью отсоединить батарею от бортовой сети для предотвращения такой опасности.

Однополюсный выключатель батареи встроен в провод заземления на корпус (отрицательный полюс) батареи, в непосредственной близости от батареи. Переключатель должен легко приводиться в действие водителем.

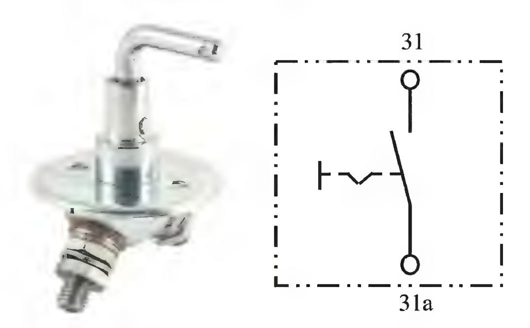


Рис. 1.19. Выключатель «массы»

В устройствах с трёхфазными генераторами переменного тока работа без батареи не допускается вследствие опасности возникновения пиков напряжения (т. е. повреждения электронных компонентов). Поэтому в таких устройствах выключатель батареи должен приводиться в действие только при выключенном двигателе.

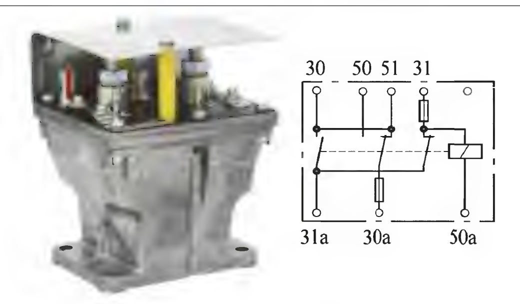


Рис. 1.20. Дистанционный выключатель аккумуляторных батарей

Рис. 1.21. Схема с реле выключения дополнительной батареи:
G1 – батарея для дополнительного оборудования, G2 – пусковая батарея, G3 – трёхфазный генератор переменного тока, H – индикатор зарядки, K – реле выключения дополнительной батареи, M – стартер, N – регулятор напряжения, S1 – выключатель зажигания, S2 – выключатель приборов и стартера

Для электрического оборудования в автобусах, автомобилях-цистернах и т. д. необходимо использовать дистанционный выключатель аккумуляторной батареи в качестве главного выключателя, с помощью которого бортовая сеть может быть отключена от батареи. В результате можно избежать как коротких замыканий (например, во время ремонта), так и явлений разложения, вызванных токами утечки, на деталях, находящихся под напряжением.

В устройствах такого типа с трёхфазным генератором переменного тока для предотвращения недопустимого превышения напряжения необходимо использовать главный двухполюсный электромагнитный выключатель батареи, который предотвращает отсоединение генератора от батареи во время работы двигателя.

Реле выключения дополнительной аккумуляторной батареи (реле с замыкающим контактом) подходит для отсоединения пусковой батареи от второй батареи для дополнительного оборудования. Таким образом можно защитить пусковую батарею от разрядки в том случае, когда трёхфазный генератор переменного тока не вырабатывает энергию. Реле оснащено диодом для защиты от неправильной полярности и гасящим диодом для подавления индуктивных пиков напряжения при включении.

Реле заряда батареи подходит для заряда дополнительно установленной 12-вольтной батареи в транспортных средствах с напряжением бортовой сети 24 В. Реле оснащено резисторами, на которых при зарядном токе 10 А возникает падение напряжения, в результате чего зарядное напряжение понижается до 12 В. Предпосылкой является то, что 24-вольтный генератор может выработать дополнительную нагрузку 10 А.

§ 1.8. Бортовая сеть на напряжение 48 В

Увеличение мощности потребителей приводит к увеличению сечения проводов, длина которых в современном автомобиле может достигать нескольких километров. Для сокращения значений токов, циркулирующих в бортовой сети необходимо увеличение напряжения бортовой сети. В настоящее время разработаны схемы перехода на напряжение 48 В (см. рис. 1.22), а в ряде случаев (автомобили Bentley Bentayga, Audi SQ7) такой переход частично реализован для ряда энергоёмких потребителей.

Компоненты бортовой подсети 48 В

В дополнение к уже известным компонентам 12 В. в ряде автомобилей имеются некоторые дополнительные компоненты, образующие подсеть с напряжением 48 В. Речь идёт главным образом о преобразователе напряжения 48 В / 12 В и литий-ионной АКБ 48 В. Эта АКБ обеспечивает определённые компоненты постоянным напряжением 48 В.

С появлением бортовой подсети 48 В вводятся также два новых обозначения клемм:

– клемма 40 для стороны плюса 48 В;
– клемма 41 для стороны минуса 48 В.

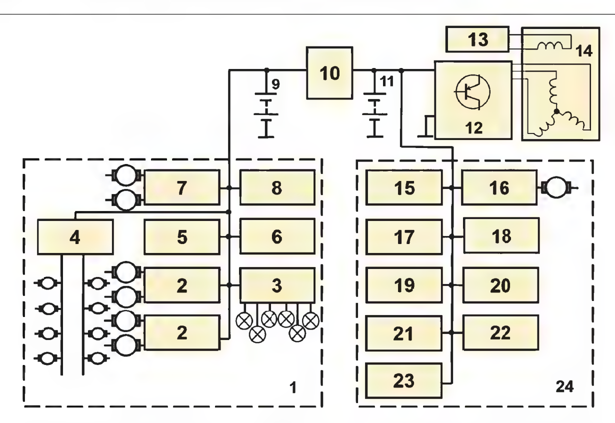


Рис. 1.22. Двухуровневая бортовая сеть с двумя аккумуляторными батареями напряжением 12 и 48 В:
1 – потребители малой и средней мощности, 2 – электропривод блокировки дверей, 3 – система освещения и световой сигнализации, 4 – электропривод климатической установки, 5 – центральный замок, 6 – система управления двигателем, 7 – стеклоочистители, 8 – приборная панель информационной системы, 9 – аккумуляторная батарея напряжением 12 В, 10 – обратимый преобразователь постоянного тока, 11 – аккумуляторная батарея напряжением 42 В, 12 – управляемый инвертор постоянного тока в переменный и переменного тока в постоянный, 13 – электронный блок управления стартерным и генераторным режимами. 14 – стартер-генератор. интегрированный в маховик двигателя внутреннего сгорания. 15 – система управления активной подвеской с электроприводом. 16 – электровентилятор системы охлаждения двигателя, 17 – электропривод механизма газораспределения двигателя, 18 – электропривод водяного насоса, 19 – электроусилитель руля, 20 – антиблокировочная система торможения, 21 – электроподогрев каталитического нейтрализатора отработавших газов, 22 – электрообогрев стёкол, 23 – электроподогрев сидений, 24 – потребители большой мощности

На рис. 1.23 представлено два варианта бортовой сети с напряжением 48 В, реализованных в серийных автомобилях. В первом случае автомобиль оснащен обычным 12-вольтным генератором и двумя аккумуляторными батареями: свинцово-кислотной, рассчитанной на 12 В, и литий-ионной, обеспечивающей 48 В. Электроснабжение требующих большой мощности потребителей осуществляет литий-ионная батарея, заряд которой восполняет 12 В генератор посредством преобразователя 48 В/12 В.

Во втором случае автомобиль оснащен генератором на 48 В, напрямую заряжающим литий-ионную батарею, а заряд свинцово-кислотной батареи осуществляется с помощью преобразователя 48 В/12 В.

Вторая схема предполагает перспективное увеличение доли потребителей энергии, рассчитанных на 48 В.

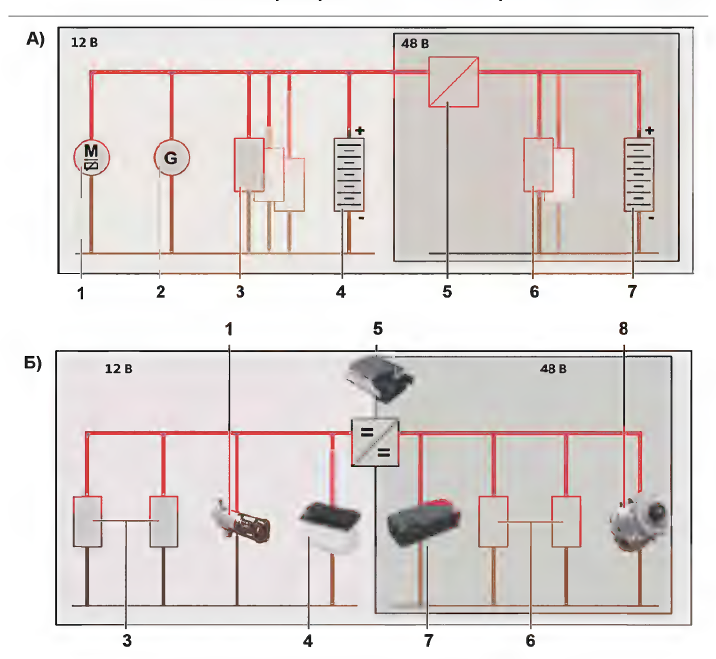


Рис. 1.23. Электрические схемы бортовой подсети на 48 В:
А – с генератором на 12 В, Б – с генератором на 48 В; 1 – стартер, 2 – генератор на 12 В, 3 – потребители на 12 В, 4 – аккумуляторная батарея на 12 В, 5 – преобразователь напряжения 48 В/12 В, 6 – потребители на 48 В, 7 – аккумуляторная батарея на 48 В, 8 – генератор на 48 В

Управление энергопотреблением

Информацию о состоянии АКБ 12 В получает от блока управления для контроля АКБ, который, так же, как и генератор, подключён к по шине LIN.

Необходимость в бортовой подсети 48 В объясняется повышенным потреблением электроэнергии нагнетателем с электрическим приводом (EAV), а также функцией электромеханической активной стабилизации крена.

Нагнетатель с электрическим приводом со своим блоком управления нагнетателя с электроприводом, а также оба блока управления стабилизации крена получают постоянное напряжение питания от литий-ионной АКБ 48 В.

Передний и задний исполнительные механизмы предотвращения колебаний кузова получают переменное напряжение питания 48 В, каждый от своего блока управления.



Рис. 1.24. Аккумуляторная батарея на 48 В:
1 – минусовой вывод (клемма 41), 2 – разъём встроенного блока управления, 3 - встроенный предохранитель, 4 – плюсовой вывод (клемма 40)

Заряд АКБ 48 В (см. рис. 1.23, *а*) осуществляется только от преобразователя напряжения, который получает питание или от генератора, или от стороннего зарядного устройства напряжением 12 В.

Подключение зарядного устройства непосредственно к АКБ 48 В не предусмотрено. Для пуска от внешнего источника питания в автомобиле имеются обычные выводы 12 В. Срок службы АКБ рассчитан на весь срок службы автомобиля.

Преобразователь напряжения 48 В/12 В (см. рис. 1.25) представляет собой преобразователь напряжения двустороннего действия.



Рис. 1.25. Преобразователь напряжения 48 В/12 В:
1 – вывод для выравниваний давления, 2 – преобразователь напряжения 48 В/12 В, 3 – крышка, 4 – десятиконтактный разъём, 5 – разъём 48 В плюс (клемма 40), 6 – вывод 48 В минус (клемма 41), 7 – вывод 12 В плюс (клемма 30)

Это означает, что, с одной стороны, напряжение 12 В, создаваемое генератором, преобразуется в напряжение 48 В для заряда АКБ 48 В. С другой стороны, при определённых условиях процесс преобразования меняет направление, и уже напряжение 48 В преобразуется в напряжение 12 В.

Так, электроэнергия АКБ 48 В может использоваться для поддержки бортовой сети 12 В.

Таблица 1.2

Режимы работы бортовой сети на 48 В

АКБ 12 В	АКБ 48 В	Описание
Заряжается	Заряжается	Генератор подаёт напряжение 12 В, заряжает АКБ 12 В и обеспечивает питание преобразователя напряжения, который преобразует это напряжение в 48 В и заряжает АКБ 48 В
Разряжается	Заряжается	АКБ 12 В разряжается: преобразователь напряжения создаёт напряжение 48 В и заряжает АКБ 48 В. Когда создаётся угроза того, что двигатель автомобиля не сможет больше запуститься, преобразователь напряжения выключается
Заряжается	Заряжается	Распознано зарядное устройство: зарядное устройство 12 В заряжает АКБ 12 В. Преобразователь напряжения создаёт напряжение 48 В и заряжает АКБ 48 В
Заряжается	Не заряжается	Если мощность зарядного устройства настолько мала, что его зарядного тока не хватает для АКБ 12 В, то в этом цикле клеммы 15 преобразователь напряжения не создаёт напряжение 48 В, и АКБ 48 В не заряжается
Заряжается	Заряжается (при необходимости)	Распознано зарядное устройство: зарядное устройство 12 В заряжает АКБ 12 В. Преобразователь напряжения при необходимости создаёт напряжение 48 В и заряжает АКБ 48 В
Поддерживается	Разряжается	Специальный режим: при падении напряжения в бортовой сети 12 В преобразователь напряжения может преобразовывать напряжение 48 В в напряжение 12 В для поддержки АКБ 12 В
Разряжается	Отсоединена	АКБ 48 В «отсоединена»: АКБ 12 В разряжается в соответствии с потребляемым электрооборудованием автомобиля током покоя

§ 1.9. Баланс электроэнергии на автомобиле

При работающем двигателе генератор вырабатывает ток, которого обычно хватает в зависимости от параметров напряжения в бортовой сети (в зависимости от частоты вращения генератора и подключённых потребителей), для обеспечения потребителей и зарядки аккумуляторной батареи. Если потребляемый ток в бортовой сети выше тока генератора (например, при работе двигателя на холостом ходу), батарея разряжается. Напряжение бортовой сети понижается до уровня напряжения нагруженной батареи.

Подбором батареи, генератора, стартера и прочих потребителей бортовой сети обеспечивается баланс электроэнергии батареи, чтобы всегда был возможен запуск двигателя внутреннего сгорания и при не работающем двигателе некоторые электрические потребители могли работать в течение определённого времени.

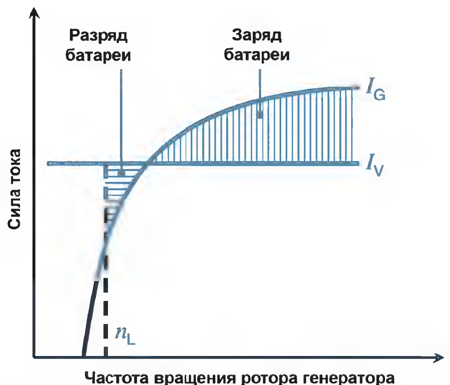


Рис. 1.26. Токоотдача генератора в зависимости от частоты вращения ротора

Решающее влияние на баланс электроэнергии батареи – наряду с самой батареей – оказывает токоотдача генератора, а также мощность потребителя.

Токоотдача генератора зависит от частоты вращения. При частоте вращения двигателя на холостом ходу n генератор может отдать при обычном передаточном соотношении (коленчатый вал – генератор) от 1 : 2 до 1 : 3 только часть своего номинального тока. Номинальный ток отдаётся согласно определению при частоте вращения генератора 6000 мин$^{-1}$.

Электрические потребители обладают различной продолжительностью включения. Различают постоянно включённые потребители (зажигание, впрыск топлива и т. д.), потребители долговременного режима работы (освещение, обогрев заднего стекла и т. д.) и потребители кратковременного режима работы (указатель поворота, сигнал торможения и т. д.).

Таблица 1.3

Установленные потребители с учётом продолжительности включения

Потребители	Потребляемая мощность, Вт	Средняя мощность нагрузки, Вт
Электронная система Motronic, топливный насос с электроприводом	250	250
Радио	20	20
Стояночный огонь	8	7
Ближний свет	110	90
Фонарь освещения номерного знака, задний габаритный фонарь	30	25
Сигнальные лампочки, приборы	22	20
Заднее стекло с подогревом	200	60
Подогрев внутреннего помещения, вентиляторы	120	50
Электрический вентилятор системы охлаждения двигателя	120	30
Стеклоочиститель	50	10
Сигнал торможения	42	11
Указатели поворота	42	5
Противотуманные фары	110	20
Задний противотуманный фонарь	21	2
Итого:		
установленная мощность нагрузки, Вт	1145	
средняя мощность нагрузки, Вт		600

Использование некоторых электрических потребителей зависит от времени года (кондиционер, обогрев сиденья). Частота включения электрических вентиляторов в системе охлаждения двигателя зависит от температуры и режима работы. Зимой ездят обычно с включённым светом.

Требуемая мощность потребителя во время движения непостоянна. Обычно в первые минуты после старта она очень высокая, а затем понижается:

– обогрев ветрового стекла для размораживания требует до 2 кВт в течение 1–2 минут после пуска.

– насос дополнительного воздуха, который нагнетается за камерой сгорания для нейтрализации отработанных газов, работает до 3 минут после пуска.
– прочие потребители, такие как обогрев (заднее стекло, сиденья, зеркала и т. д.), вентиляторы и освещение, включаются в зависимости от ситуации на долгое или короткое время, в то время как система управления двигателем работает постоянно.

В соответствии с существующими требованиями на холостом ходу двигателя генератор должен обеспечивать питание системы зажигания, приборов, габаритных и номерных фонарей и отопителя при малой частоте вращения его вентилятора для автомобилей особо малого класса и грузовых автомобилей. Для автомобилей среднего класса добавляется обогреватель стекла на половинной мощности, для автобусов – плафоны внутреннего освещения.

Поскольку на современных автомобилях устанавливают генераторы переменного тока, будем рассматривать работу аккумуляторной батареи только с такими генераторами. Характеристики совместной работы зависят от режима работы двигателя и от нагрузки.

При номинальной частоте вращения генератора анализ совместной работы в зависимости от нагрузки целесообразно проводить графическим методом, совмещая внешнюю характеристику генератора $U_г = f(I_г)$ при $n_г = const$ и зарядно-разрядную характеристику батареи $U_б = f\ (Iб)$ (рис. 1.27). Сопротивлением соединительных проводов пренебрегаем, то есть допускаем, что напряжения на генераторе и батарее равны ($U_г \approx U_б$). В зависимости от нагрузки при параллельной работе возможны следующие характерные случаи (см. рис. 1.27).

Нагрузка отсутствует и весь ток, вырабатываемый генератором, идёт на заряд батареи; $I_г = I_{бз}$ (точка *1* на рис. 1.27).

Нагрузка включена, напряжение генератора равно регулируемому $U_г = U_{рег}$. Ток генератора идёт на заряд батареи, и питание нагрузки $I_г = I_{бз} + I_н$ (точка *2*).

Возрастание нагрузки приводит к тому, что напряжение генератора становится ниже регулируемого, но оно остаётся выше ЭДС батареи $E_б < U_г < U_{рег}$ (точка *3*). В этом случае также генератор питает нагрузку и заряжает батарею: $I_г = I_{бз} + I_н$, но зарядный ток уменьшается.

Нагрузка возросла до значения, при котором $U_г = E_б$. При этом весь ток генератора идёт в нагрузку. Ток заряда отсутствует: $I_г = I_н$; $I_{бз} = 0$ (точка *4*).

Дальнейшее возрастание нагрузки приводит к тому, что напряжение генератора становится ниже ЭДС батареи, и она питает нагрузку совместно с генератором: $I_н = I_г + I_{бр}$ (точка *5*).

При учёте падения напряжения в соединительных проводах между генератором и батареей напряжение генератора будет линейно уменьшаться с увеличением тока генератора, что приведёт к разряду батареи при напряжении генератора большем, чем ЭДС батареи. Поэтому в эксплуатации необходимо следить за состоянием соединительных проводов и их клеммных соединений.

Зарядный ток батареи можно также увеличить или уменьшить за счёт изменения регулируемого напряжения. Факторы, приводящие к увеличению

внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи (понижение температуры, увеличение износа батареи, уменьшение ёмкости), приводят к уменьшению зарядного тока, так как зарядная характеристика при этом будет изменяться более круто.

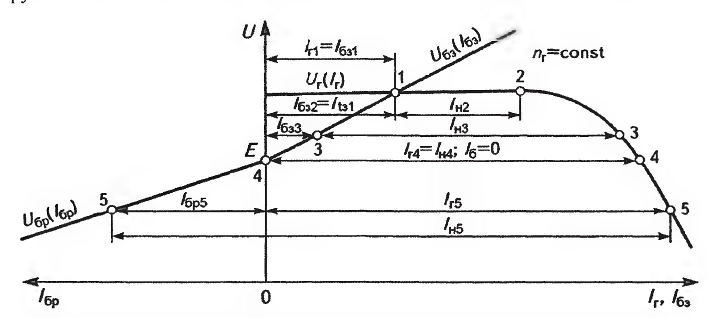


Рис. 1.27. Анализ совместной работы генератора и аккумуляторной батареи по внешним характеристикам генератора и зарядно-разрядной характеристике батареи

Из приведённого анализа совместной работы двух источников электроэнергии автомобиля ясно, что существуют режимы, когда аккумуляторная батарея отдаёт накопленную энергию потребителям; в то же время она восстанавливает её, когда генератор обеспечивает подзаряд батареи.

Динамическая характеристическая кривая системы представляет собой изменение напряжения аккумуляторной батареи по отношению к току батареи во время цикла движения. Огибающая кривая указывает на общее воздействие компонентов батареи, генератора, потребителя, температуры, частоты вращения и передаточного отношения двигатель/генератор. Большая площадь на огибающей означает, что при таком исполнении бортовой сети в выбранном цикле движения возникают сильные колебания напряжения, а батарея быстрее замыкается в цикл, то есть её степень заряженности испытывает сильные временные изменения. Данная характеристическая кривая системы особая для каждой комбинации, любого условия эксплуатации и, как следствие, любого динамического показания. Характеристическая кривая системы может измеряться на клеммах батареи и отображаться графически с помощью измерительной системы.

Посредством расчёта баланса электроэнергии определяется тип исполнения генератора и батареи. С помощью компьютерной программы рассчитывается степень заряженности батареи в конце заданного цикла движения на основании нагрузки, создаваемой потребителями, и мощности генератора. Обычным циклом для легкового транспортного средства является интенсивная работа транспорта перед началом и по окончании рабочего дня (незначительная частота вращения) в сочетании с режимом работы в зимний период (незначительное потребление зарядного тока батареи и высокое электрическое потребление).

В данных неблагоприятных для энергетического баланса бортовой сети условиях батарея должна иметь уравновешенный энергетический баланс.

Профиль езды как входной параметр для расчёта баланса электроэнергии отображается с помощью относительно скоростного режима работы двигателя. На кривой указывается, как часто достигается и превышается определённая частота вращения двигателя.



Рис. 1.28. Динамическая характеристическая кривая системы электроснабжения:
1 – при большом генераторе и небольшой батарее,
2 – при небольшом генераторе и большой батарее

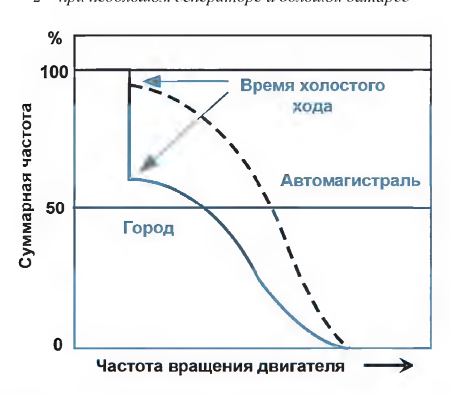


Рис. 1.29. Относительный скоростной режим работы двигателя при движении в городских условиях и на автомагистрали

Легковой автомобиль во время движения в городских условиях при интенсивной работе транспорта перед началом и по окончании рабочего дня имеет более высокую долю частоты вращения двигателя при холостом ходе, вызванную частой остановкой на светофорах и высокой интенсивностью дорожного движения.

Городской автобус при маршрутном сообщении имеет дополнительную долю холостого хода в результате остановок для высадки / посадки пассажиров. На баланс электроэнергии батареи, кроме всего прочего, негативно воздействуют потребители, которые работают при выключенном двигателе. Автобусы для туристских перевозок в общем имеют незначительную долю холостого хода, но доля работы потребителей во время остановки высока.

§ 1.10. Стартер-генераторы

Для современных автомобилей характерна тенденция объединения функциональных систем. Развитие электроники, а также рост требуемой от генератора мощности позволяет объединить элементы системы пуска и электроснабжения в едином устройстве – *стартер-генераторе*, электрической машине, при пуске работающей электродвигателем, а в нормальном рабочем режиме – генератором. Такое совмещение позволяет отказаться от ряда устройств, устанавливаемых обычно на двигателе автомобиля (маховика, привода генератор – двигатель, механизма привода стартера и т. п.), а также расширить функции, выполняемые обычно генератором и стартером. Например, совместно с тормозной системой осуществлять торможение автомобиля с передачей энергии в аккумуляторную батарею, совместно с ёмкостным накопителем энергии служить демпфером при работе двигателя, работать в системе «старт – стоп» (ротор стартер-генератора вращается по инерции при кратковременной остановке двигателя и пускает его за счёт своей кинетической энергии без включения стартер-генератора в цепь питания) и т. п.

Дополнительная мощность, отдаваемая стартер-генератором в двигательном режиме при разгоне автомобиля, позволяет соответственно снизить мощность двигателя внутреннего сгорания и, следовательно, экономить топливо. Наконец, стартер-генератор в определённых ситуациях может осуществлять движение автомобиля на электрической тяге.

Современный стартер-генератор – это электрическая машина, управляемая мощным полупроводниковым устройством. Повышенная мощность стартер-генератора в генераторном режиме позволяет электрифицировать рулевое управление, механизм газораспределения, насос в системе охлаждения и т. п. Однако слишком большие токовые нагрузки и повышенное падение напряжения в полупроводниках требуют перехода на повышенное напряжение.

В современных автомобилях использование стартер-генератора предполагает двухуровневую систему напряжений на 48 и 14 В, причём уровень 48 В вырабатывается стартер-генератором, а 14 В обеспечивается преобразователем. Высоким напряжением снабжаются: подогреватель нейтрализатора отработавших газов, сервопривод, топливный насос и насос охлаждающей жидкости,

а также стартер-генератор при пуске. Остальные потребители обеспечиваются питанием по цепи низкого напряжения.

Наиболее целесообразное место установки стартер-генератора – между двигателем и коробкой передач, на месте маховика двигателя, однако возможен привод стартер-генератора и через ремённую передачу. На рис. 1.28 представлены оба варианта систем стартер-генераторов.

Система, показанная на рис. 1.30, *а,* реализуется в виде электромашины, ротор которой, установленный на валу двигателя, исполняет функцию маховика. Стартер-генератор на рис. 1.30. *б,* связан с двигателем ремённой передачей и выполняется на базе клювообразной электрической машины.

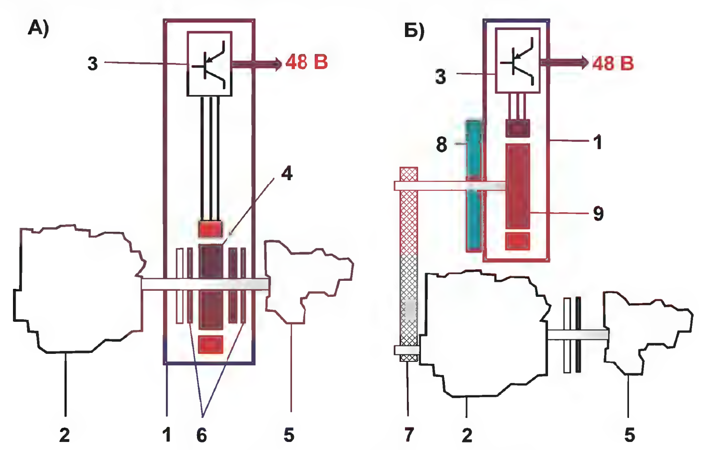


Рис. 1.30. Кинематические схемы соединения стартер-генераторов:
А – при установке между двигателем и коробкой передач, Б – при внешней установке, 1 – стартер-генератор, 2 – двигатель внутреннего сгорания, 3 – электронная система управления, 4 – электромашина, 5 – коробка передач, 6 – сцепление, 7 – ремённая передача, 8 – редуктор, 9 – электромашина

В автомобилях, оснащённых стартер-генератором (рис. 1.31) он в определённых условиях служит для запуска двигателя внутреннего сторания.

Поскольку стартер-генератор является в ремённой передаче в режиме генератора ведомым, а в режиме стартера – ведущим элементом, для натяжения ремня требуется натяжитель специальной конструкции (рис. 1.32).

Этот натяжитель крепится к корпусу стартер-генератора винтами. Надлежащее натяжение ремня в обоих режимах обеспечивается двумя связанными друг с другом натяжными роликами.

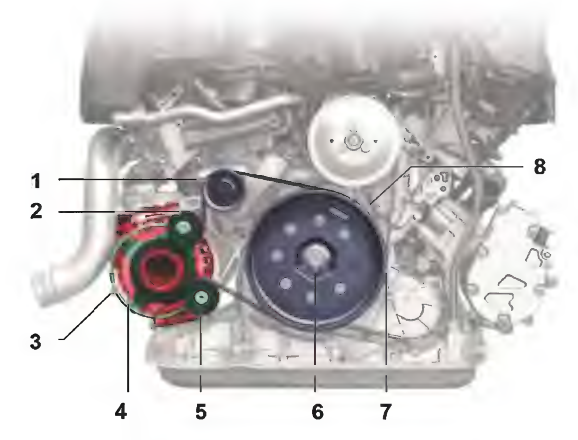


Рис. 1.31. Автомобиль с системой «старт – стоп»
с ремённым стартер-генератором:
1 – направляющий ролик, 2 – натяжной ролик 1, 3 – маятник,
4 – стартер-генератор, 5 – натяжной ролик 2, 6 – коленчатый вал,
7 – шкив поликлинового ремня, 8 – вискодемпфер крутильных колебаний

Запуск ДВС с помощью стартер-генератора называют также 12-вольтным запуском. Нижняя часть ремня при запуске двигателя полностью натянута и нажимает нижний ролик вниз. Через скобу маятника это давление передаётся на верхний ролик, который натягивает поликлиновый ремень.

Если 12-вольтное питание стартер-генератора обеспечено, двигатель внутреннего сгорания запускается с помощью ремня, если соблюдены следующие условия:

1. Если тяговый двигатель электропривода во время движения на электроприводе испытывает такую нагрузку, что выполняемый без рывка запуск двигателя внутреннего сгорания с пробуксовкой разделительной муфты невозможен, двигатель внутреннего сгорания запускается стартер-генератором.
2. При движении на гибридном приводе тяговый двигатель электропривода и двигатель внутреннего сгорания отдают свою мощность коробке передач. Если при уменьшении мощности привода водителем двигатель внутреннего сгорания выключается, то, когда водитель снова увеличит мощность нажатием педали акселератора, двигатель может запуститься блоком управления двигателя путём включения зажигания и впрыска топлива заново до тех пор, пока он имеет частоту вращения, необходимую для запуска. Если частоты вращения для этого

больше не хватает, двигатель разгоняется стартер-генератором до частоты вращения, необходимой для запуска, и запускается.

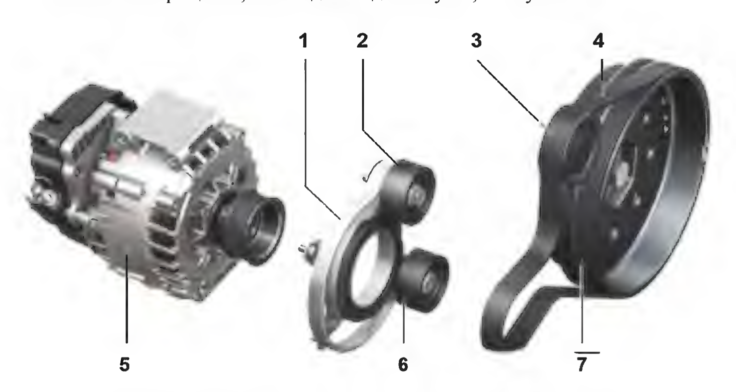


Рис. 1.32. Конструкция натяжного устройства стартер-генератора:
1 – качающийся элемент, 2 – натяжной ролик № 1, 3 – направляющий ролик, 4 – поликлиновый ремень, 5 – стартер-генератор, 6 – натяжной ролик № 2, 7 – шкив поликлинового ремня на коленчатом валу



Рис. 1.33. Работа стартер-генератора в стартерном режиме

Регулируемое отключение

Когда двигатель внутреннего сгорания останавливается функцией «старт – стоп», стартер-генератор быстро затормаживает его до полной остановки, чтобы предупредить т. н. вибрации при останове.

Режим генератора

Когда двигатель внутреннего сгорания работает, стартер-генератор питается от бортовой сети напряжением 12 В.

При этом он работает в режиме генератора без отдачи тока. В этом рабочем режиме поликлиновый ремень сильно натягивается, поскольку генератор затормаживается. Поэтому нижний ролик отжимается с помощью скобы маятника вверх и направляет поликлиновый ремень.



Рис. 1.34. Работа стартер-генератора в генераторном режиме

Контрольные вопросы к главе 1

1. Из каких компонентов состоит система электроснабжения автомобиля?
2. Опишите одно- и двухпроводную схему системы электроснабжения.
3. Чем обусловлено применение многоканальных систем электроснабжения?
4. Что называется безнагрузочным током (током утечки)?
5. Объясните разницу между клеммами 30 и 15 бортовой сети автомобиля.
6. Охарактеризуйте места установки аккумуляторных батарей на автомобиле.
7. Какие потребители следует подключать со стороны аккумуляторной батареи? Со стороны генератора?
8. Перечислите пути оптимизации потоков энергии на автомобилях.
9. Объясните назначение и функции системы управления электрической энергией.
10. Что характеризует SOC аккумуляторной батареи?
11. Что характеризует SOH аккумуляторной батареи?
12. Что характеризует SOF аккумуляторной батареи?
13. Что такое рекуперация электрической энергии? Какие условия необходимы для её осуществления?
14. Охарактеризуйте систему распознавания состояния аккумуляторной батареи.
15. Опишите устройство и принцип работы датчика аккумуляторной батареи.
16. Перечислите функции распознавания состояния АКБ.
17. Охарактеризуйте систему стабилизации напряжения бортовой сети.

18. Для чего бортовая сеть может содержать более одной аккумуляторной батареи?
19. Опишите алгоритм работы бортовой сети с двумя аккумуляторными батареями.
20. Каковы особенности бортовой сети грузовых автомобилей?
21. Для чего предназначен выключатель аккумуляторной батареи?
22. Каково назначение реле выключения дополнительной аккумуляторной батареи?
23. Каковы причины и преимущества перехода на повышенное напряжение бортовой сети?
24. Какие потребители требуют для своей работы повышенного напряжения бортовой сети?
25. Как работает преобразователь напряжения 48 В/12 В?
26. Опишите алгоритм работы батарей в бортовой сети на 48 В.
27. Назовите потребители бортовой сети, включённые постоянно и периодически.
28. Что называют балансом энергии бортовой сети?
29. Что характеризует динамическая кривая совместной работы генератора и аккумуляторной батареи?
30. От чего зависит величина энергии, вырабатываемой генератором при движении в городском цикле?
31. Работа каких потребителей должна быть гарантированной при расчёте баланса электроэнергии?
32. Каковы основные преимущества стартер-генераторов?

ГЛАВА 2. ИСТОЧНИКИ ТОКА НА АВТОМОБИЛЯХ

§ 2.1. Общие сведения

Классификация источников тока, используемых на автомобилях, по виду преобразования энергии приведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Классификация источников тока на автомобилях

2.1.1 Солнечные батареи

Принцип работы солнечной батареи основан на том, что в двух кремниевых пластинах, покрытых разными веществами (бором и фосфором), под действием солнечного света возникает электрический ток. В пластине, которая покрыта фосфором, появляются свободные электроны. Отсутствующие частицы образуются в тех пластинах, которые покрыты бором. Электроны начинают двигаться под действием света солнца. Так образуется электрический ток в солнечных батареях. Тонкие жилы из меди, которыми покрыта каждая батарея, отводят от неё ток и направляют по назначению.

Итак, принцип работы солнечной батареи понятен. Ток вырабатывается при воздействии ультрафиолетового света на специальные пластины. Если в качестве материала для создания таких пластин используется кремний, то батареи называются *кремниевыми* (или кремневодородными). Кремниевые солнечные батареи бывают разных типов.

Монокристаллические преобразователи представляют собой панели со скошенными углами. Их цвет всегда чисто чёрный. Если говорить о монокристаллических преобразователях, то работу солнечной батареи можно назвать среднеэффективной. Все ячейки светочувствительных элементов такой батареи

направлены в одну сторону. Это позволяет получить самый высокий результат среди подобных систем. КПД батарей этого типа достигает 25 %. Минусом является то, что такие панели должны быть всегда обращены лицевой стороной к солнцу. Если солнце прячется за тучами, опускается к горизонту или ещё не успело взойти, то батареи будут вырабатывать ток довольно слабой мощности.

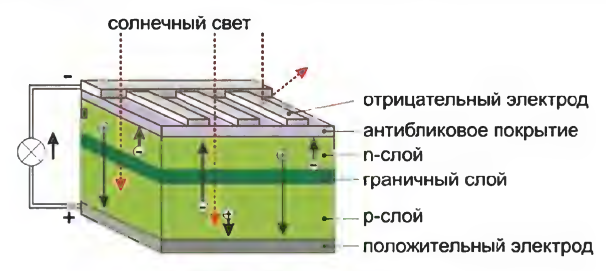


Рис. 2.2. Устройство солнечной батареи

Поликристаллические пластины механизмов всегда квадратные, тёмно-синего цвета. В состав их поверхности включены неоднородные кристаллы кремния. КПД поликристаллических батарей не настолько высок, как у монокристаллических моделей. Он может достигать 18 %. Принцип работы солнечной батареи этого типа позволяет изготавливать их не только из чистого кремния, но также из вторичных материалов. Отличительной особенностью механизмов данного типа является то, что они могут достаточно эффективно вырабатывать электрический ток даже при пасмурной погоде. Такое полезное качество делает их незаменимыми в местах, где рассеянный солнечный свет является обычным повседневным явлением.



Рис. 2.3. Использование солнечных батарей на автомобиле

В 2017 году для Toyota Prius Prime стала доступна более приемлемая версия солнечных батарей. Мощность новой батареи оценивается в 180 Вт, и это втрое больше, чем у аналогичных модулей «Приуса» образца 2009 года (56 Вт). Получается, что в солнечную погоду за шесть часов можно накопить около 1 кВт энергии. Поставщиком компонентов выступила компания Panasonic.

Генеральный директор Panasonic Solar Business Unit, считает, что фотоэлементы позволят повысить эффективность «Приуса» примерно на 10 %. Иными словами, десятая часть всей потребляемой электромобилем энергии может вырабатываться без привлечения внешних источников. Реальные эксплуатационные характеристики существенно варьируются в зависимости от сезона и погоды, но в среднем один день под солнцем пополнит запас хода Toyota Prius Prime на 3–6 километров.

2.1.2. Топливные элементы

Топливные элементы – это электрохимические преобразователи, которые преобразуют химическую энергию, содержащуюся в водороде, непосредственно в электрическую энергию. Благодаря этому у них более высокий коэффициент полезного действия, чем у других известных устройств, генерирующих ток.

Водород, как энергоноситель, реагирует в холодном сгорании с кислородом воздуха и при этом производит ток. Топливные элементы действуют без подвижных деталей, без механического трения и работают эффективно, с малым шумом и без выбросов в атмосферу вредных веществ.

Топливный элемент состоит из двух электродов (анода и катода), которые отделены друг от друга электролитом (см. рис. 2.4).

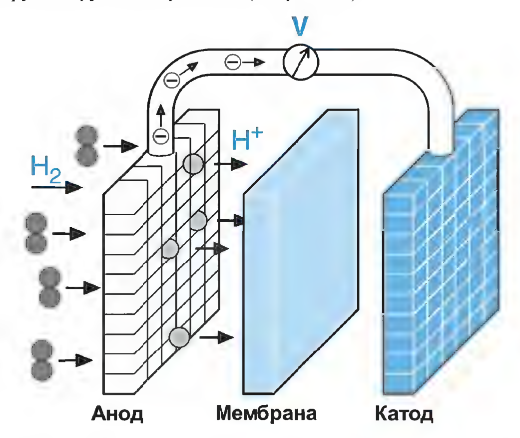


Рис. 2.4. Расщепление атомов водорода на аноде топливного элемента

Электролит проницаем только для ионов. Электроды соединены друг с другом внешней электрической цепью. На аноде окисляется топливный элемент, на катоде уменьшается количество кислорода. В качестве топлива применяются водород, водородосодержащие смеси газов, спирты или углеводороды. Выбор топлива сориентирован на тип топливного элемента. Отдельные виды топливных элементов определяются в основном по применяемому электролиту.

Для применения в движении чаще всего используются топливные элементы с полимерно-электролитной мембраной (Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell, PEM-FC).

Принцип действия топливных элементов описан ниже на примере. У топливного элемента PEM на анод подаётся водород, который там окисляется. Образуются ионы H и электроны (см. рис. 2.4). У топливного элемента PEM электролит представляет собой полимерную мембрану, проводящую протоны. Она проницаема для протонов, но не для электронов. Ионы H (протоны), которые образуются на аноде, проходят мембрану и доходят до катода. К катоду подведён кислород, количество которого на катоде уменьшается (см. рис. 2.5).

Уменьшение количества происходит при помощи электронов, которые поступают от анода через внешнюю электрическую цепь. В качестве общей реакции топливного элемента происходит превращение водорода и кислорода в воду (см. рис. 2.6).

В отличие от реакции гремучего газа, при которой водород и кислород реагируют друг с другом, обусловливая взрыв, здесь происходит превращение в процессе так называемого холодного сгорания (холодного окисления), так как стадии реакции происходят раздельно в пространстве на аноде и катоде.

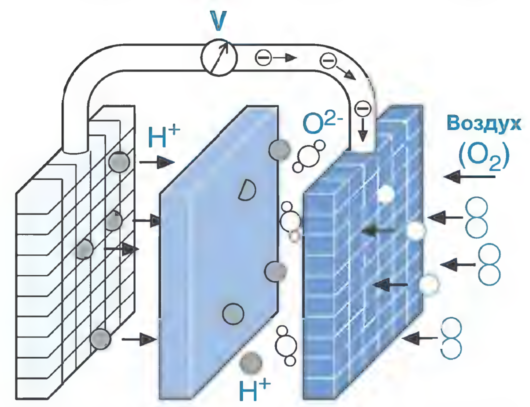


Рис. 2.5. Диффузия протонов сквозь мембрану топливного элемента

Напряжение отдельного водородно-кислородного топливного элемента теоретически составляет 1,23 В при температуре 25 °C (эта величина получается из сложения стандартных потенциалов электродов).

Однако в работе топливного элемента это напряжение не достигается, здесь оно составляет около 0,5–1,0 В. Потери напряжения объясняются помехами при реакции или затруднённой диффузией газов. В основном напряжение зависит от температуры, стехиометрии, давления и плотности тока в рабочей точке.

На автомобилях применяются батареи топливных элементов мощностью от 5 до 100 кВт. Чтобы получить высокие напряжения, требуемые для технического применения элементов, элементы последовательно соединяются в батареи. Батареи могут включать от 40 до 450 элементов, то есть их максимальное рабочее напряжение составляет от 40 до 450 В.

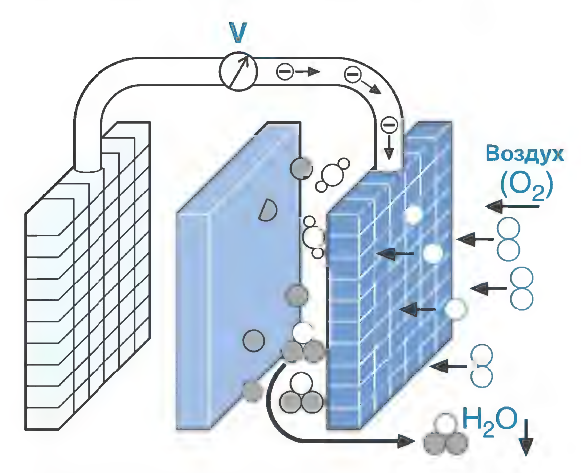


Рис. 2.6. Объединение протонов и электронов с кислородом воздуха на стороне анода топливного элемента

Высокие значения электрического тока достигаются за счёт соответствующей площади поверхности мембраны. Значение выходного тока батареи топливных элементов для автомобилей достигает 500 А.

Ведущие автопроизводители ведут разработку автомобилей, использующих водород для выработки электрической энергии на борту транспортного средства. Примером такого автомобиля является разработка компании Toyota Mirai (см. рис. 2.7).



Рис. 2.7 – Устройство автомобиля Toyota Mirai:
1 – блок топливных элементов, 2 – ускоритель, 3 – высоковольтная аккумуляторная батарея, 4 – бак со сжатым водородом, 5 – тяговый электродвигатель, 6 – электронный блок управления, 7 – вспомогательные элементы

2.1.3. Суперконденсаторы

Появление в ряду современных источников тока новых накопителей энергии – суперконденсаторов (ионисторов), привело к серьёзным технологическим прорывам в автомобильной индустрии и транспортной отрасли в целом, в энергетике, включая альтернативную, в телекоммуникациях и связи, ВПК и других отраслях. Суперконденсатор по своей сути объединяет в себе полезные свойства традиционных накопителей и источников тока, таких как конденсаторы и аккумуляторы.

Суперконденсатор (ионистор) служит не менее 10 лет, при этом в процессе работы конденсатора не требуется никакого обслуживания. Окупаются такие конденсаторы энергии очень быстро, в большинстве случаев в течение нескольких месяцев. Основные варианты использования суперконденсаторов,

обуславливающие возможность получения от этого экономической выгоды, состоят в следующем:

1. Запуск двигателя в сложных условиях. Суперконденсаторы помогут быстро запустить двигатель в мороз или при разряженном аккумуляторе. Их постоянное использование увеличит срок службы АКБ в 2–3 раза.
2. Электротранспорт. В режиме торможения за счёт процесса рекуперации происходит накопление энергии в конденсаторном модуле, которая используется в дальнейшем для разгона. При этом значительно снижается пиковое потребление электроэнергии, нагрузка на контактную сеть уменьшается. Экономия электроэнергии составляет до 30 %.
3. Гибридный транспорт. Системы сохранения энергии и рекуперации на автомобильном и железнодорожном подвижном составе, основанные на конденсаторах, позволяют добиться серьёзной экономии топлива и снижения вредных выбросов.
4. Системы «старт – стоп». На современных легковых автомобилях суперконденсатор (ионистор) – это основной элемент системы, моментально отключающей и запускающей двигатель, если автомобиль останавливается на светофоре или в заторе. Экономия в данном случае двойная – ионисторы работают вместо аккумулятора и не позволяют ему преждевременно выйти из строя, а также экономят до 10 % топлива.
5. Бесперебойное электроснабжение ответственных объектов. Для кратковременной компенсации перебоев с электроэнергией отлично подходит суперконденсатор (ионистор). Выдаваемой конденсатором энергии достаточно для того, чтобы без ущерба поддержать потребителя в случае кратковременного пропадания электроэнергии, сохранить важную информацию или переключиться на другой источник.

Ионистор (суперконденсатор, ультраконденсатор, двухслойный электрохимический конденсатор) – электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. По характеристикам занимает промежуточное положение между конденсатором и химическим источником тока.

В связи с тем, что толщина двойного электрического слоя (то есть расстояние между «обкладками» конденсатора) крайне мала за счёт использования электролитов, а площадь пористых материалов обкладок по сравнению с ней колоссальна, запасённая ионистором энергия выше по сравнению с обычными конденсаторами того же размера. К тому же использование двойного электрического слоя вместо обычного диэлектрика позволяет намного увеличить площадь поверхности электрода. Типичная ёмкость ионистора – несколько фарад при номинальном напряжении 2–10 вольт.

В настоящее время автобусы с питанием от ионисторов выпускаются фирмами Hyundai Motor и «Тролза».

Автобусы на ионисторах от Hyundai Motor представляют собой электробусы с электроприводом, питаемым от бортовых ионисторов. По задумке конструкторов

из Hyundai Motor, такой автобус будет заряжаться на каждой второй или каждой третьей остановке, причём длительности остановки достаточно для подзарядки автобусных ионисторов. Hyundai Motor позиционирует свой автобус на ионисторах как экономичную альтернативу троллейбусу (нет необходимости прокладывать контактную сеть) или дизельному (и даже водородному) автобусу (электроэнергия пока дешевле дизельного или водородного топлива).

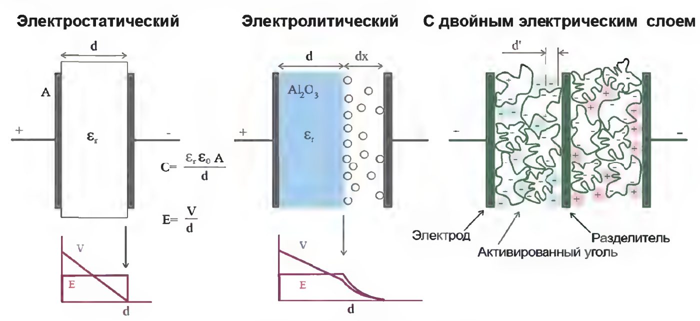


Рис. 2.8. Устройство ионистора

Автобусы на ионисторах от «Тролзы» технически представляют собой «бесштанговые троллейбусы». То есть конструктивно это троллейбус, но без штанг питания от контактной сети и, соответственно, с питанием электропривода от ионисторов.

Ё-мобиль – проект автомобиля, разрабатывавшийся в Российской Федерации, использовал суперконденсатор как основное средство для накопления электрической энергии. Сами эти суперконденсаторы пока не выпускаются серийно и разрабатывались параллельно с автомобилем.



Рис. 2.9. Ионисторы

Рекуперативная тормозная система Mazda i-ELoop

Система i-ELoop включает в себя новый регулируемый генератор (напряжение 12–25 В), суперконденсатор с пониженным внутренним сопротивлением и преобразователь постоянного тока. i-ELoop начинает преобразовывать кинетическую энергию в накопление электроэнергии в тот момент, когда водитель начинает отпускать педаль акселератора и автомобиль замедляется.

Регулируемый генератор начинает вырабатывать ток напряжением 25 В (для максимальной эффективности), который поступает в суперконденсатор для последующего хранения. Данный суперконденсатор (см. рис. 2.10) был разработан специально с целью использования в автомобилях. Его полный заряд занимает всего несколько секунд.



Рис. 2.10. Суперконденсатор Mazda i-ELoop

Преобразователь постоянного тока вступает в работу, когда запасённая в суперконденсаторе энергия начинает расходоваться на питание электрооборудования автомобиля. Он понижает напряжение с 25 до 12 В – до уровня, используемого в основной части бортовой электросети автомобиля. При необходимости система также может подзарядить аккумуляторную батарею.

i-ELoop включается в работу при каждом замедлении автомобиля, уменьшая количество топлива, которое необходимо сжечь в двигателе для выработки электроэнергии. В результате при движении в режиме «старт – стоп» экономичность повышается примерно на 10 %.

Накопительный конденсатор автомобиля Volkswagen Touareg 2019

Накопительный конденсатор в автомобиле Volkswagen Touareg 2019 стабилизирует напряжение в подсети 48 В на случай кратковременных повышений электрической мощности, потребляемой компонентами 48 В (см. рис. 2.11).

Конденсатор бортовой сети 48 В установлен с правой стороны автомобиля в багажном отсеке под фальшполом. Он удерживается в своём положении крышкой, которая также защищает его от повреждения при ДТП.

В корпусе накопительного конденсатора бортовой сети установлены блок управления и 21 двухслойный электрохимический конденсатор.

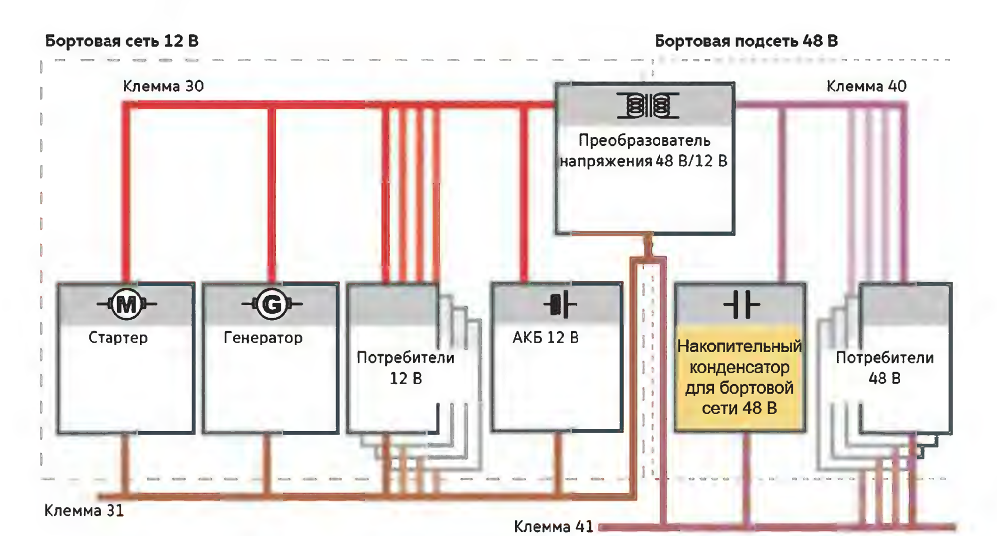


Рис. 2.11. Схема бортовой сети автомобиля Volkswagen Touareg 2019
с накопительным конденсатором



Рис. 2.12. Устройство накопительного конденсатора

Конденсаторы в корпусе соединены последовательно. Каждый из конденсаторов имеет ёмкость 310 Ф и может быть заряжен до напряжения 2,7 В.

Конденсатор бортовой сети дополнительно связан двумя выделенными проводами с блоком управления подушек безопасности. В случае ДТП блок управления подушек безопасности подаёт на конденсатор сигнал, в результате которого срабатывает встроенный в конденсатор предохранительный элемент, разрывающий цепь подачи напряжения 48 В.

По завершении поездки система управления энергопотреблением 48 В автоматически разряжает конденсатор до пониженного рабочего напряжения 40 В для увеличения срока службы конденсатора. В начале поездки конденсатор автоматически заряжается до напряжения примерно 38 В уже при открывании двери

автомобиля, если за время стоянки напряжение опустилось ниже этого уровня вследствие, например, саморазряда конденсатора.

2.1.4. Аккумуляторные батареи

Химическим источником тока называется устройство, в котором за счёт протекания пространственно-разделенных окислительно-восстановительных химических реакций их свободная энергия преобразуется в электрическую.

По характеру работы эти источники делятся на две группы:

1) первичные химические источники тока, или гальванические элементы;
2) вторичные источники, или электрические аккумуляторы.

Первичные источники допускают только однократное использование, так как вещества, образующиеся при их разряде, не могут быть превращены в исходные активные материалы. Полностью разряженный гальванический элемент, как правило, к дальнейшей работе непригоден – он является необратимым источником энергии.

Вторичные химические источники тока являются обратимыми источниками энергии: после как угодно глубокого разряда их работоспособность можно полностью восстановить путём заряда. Для этого через вторичный источник достаточно пропустить электрический ток в направлении, обратном тому, в котором он протекал при разряде. В процессе заряда образовавшиеся при разряде вещества превратятся в первоначальные активные материалы. Так происходит многократное превращение свободной энергии химического источника тока в электрическую энергию (разряд аккумулятора) и обратное превращение электрической энергии в свободную энергию химического источника тока (заряд аккумулятора).

Литий-ионные аккумуляторы

Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Пакет электродов помещён в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъёмникам. Корпус иногда оснащают предохранительным клапаном, сбрасывающим внутреннее давление при аварийных ситуациях или нарушениях условий эксплуатации. Литий-ионные аккумуляторы различаются по типу используемого катодного материала. Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи.

Применение оксидов кобальта позволяет аккумуляторам работать при значительно более низких температурах, повышает количество циклов разряда/заряда одного аккумулятора. Распространение литий-железо-фосфатных аккумуляторов обусловлено их относительно низкой стоимостью.

Электрохимические схемы литий-ионных аккумуляторов:

– литий-кобальтовые $LiCoO_2 + 6C \rightarrow Li1\text{-}xCoO_2 + LiC_6$;

– литий-ферро-фосфатные $LiFePO_4 + 6C \rightarrow Li1\text{-}xFePO_4 + LiC_6$.

Преимущества литий-ионных аккумуляторов:

– высокая энергетическая плотность (ёмкость);

– низкий саморазряд;

– не требуют обслуживания.

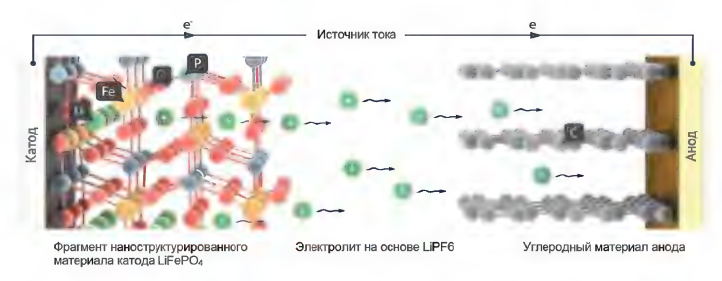


Рис. 2.13. Процесс заряда литий-ионного аккумулятора

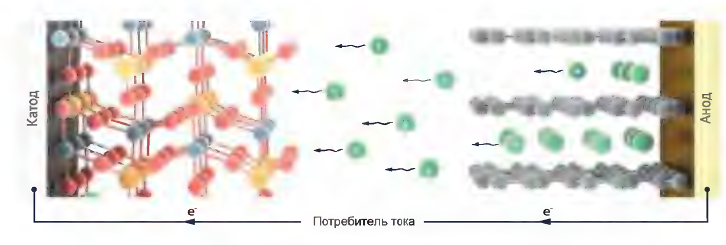


Рис. 2.14. Процесс разряда литий-ионного аккумулятора

Однако литий-ионные аккумуляторы не лишены недостатков, к числу которых относят: снижение характеристик в условиях низких температур, возможность самовозгорания. высокую стоимость и ряд других.

Разряд в условиях низких температур приводит к снижению отдаваемой энергии, в особенности при температурах ниже 0 °С. Так, снижение запаса отдаваемой энергии при понижении температуры от +20 до +4 °С приводит к уменьшению отдаваемой энергии на ~5–7 %, дальнейшее понижение температуры разрядки ниже 0 °С приводит к потере отдаваемой энергии на десятки процентов и может приводить к преждевременному исчерпанию ресурса. При снижении температуры окружающего воздуха ниже 0 °С происходит снижение

мощности литий-ионного аккумулятора до 40–50 %. Для решения этой проблемы созданы конструкции аккумуляторов с внутренним подогревом.

Самовозгорание литиевого аккумулятора очень плохо поддаётся тушению традиционными средствами. В процессе термического разгона неисправного или повреждённого аккумулятора не только происходит выделение запасённой электрической энергии, но и протекает ряд химических реакций, выделяющих энергию для саморазогрева, кислород и горючие газы. Потому вспыхнувший аккумулятор способен гореть без доступа воздуха, и для его тушения непригодны средства изоляции от атмосферного кислорода. Более того, металлический литий активно реагирует с водой с образованием горючего газа водорода, потому тушение литиевых аккумуляторов водой эффективно только для тех видов аккумуляторов, где масса литиевого электрода невелика. В целом тушение загоревшегося литиевого аккумулятора неэффективно. Цель тушения – снизить температуру аккумулятора и предотвратить распространение пламени.



Рис. 2.15. Конструкция литий-ионной аккумуляторной батареи электромобиля

Компания Porsche AG, Штутттгарт, стала первым автопроизводителем в мире, поставляющим стартерные аккумуляторные батареи, сделанные по литий-ионной технологии. Новый аккумулятор массой менее 6 кг примерно на 10 кг легче, чем обычная 60 А·ч свинцово-кислотная батарея.

Новые литий-ионные батареи поступили на рынок Германии с января 2010 года в качестве опции для моделей 911 GT3, 911 GT 3 RS и Boxster Spyder по цене 1904 евро.

По длине и ширине литий-ионные аккумуляторы поставляется с такими же размерами, как и обычные батареи, но они примерно на 70 мм ниже. Тип крепления, электрические соединения и напряжение аккумуляторов полностью

совместимы с соответствующими стандартными моделями, обеспечивая тем самым простую и быструю замену свинцовой батареи на более совершенную литий-ионную.



Рис. 2.16. Стартерная литий-ионная аккумуляторная батарея компании Porsche

Литий-ионный аккумулятор номинальной ёмкостью 18 А·ч за счёт своих специфических особенностей не только сопоставим по эффективности с 60 А·ч свинцовым аккумулятором, но и во многом превосходит его.

У обычной батареи автомобиля лишь около 30 % её ёмкости фактически доступно для практического использования из-за особенностей конфигурации системы, но это ограничение не распространяется на литий-ионные аккумуляторы. Наоборот, за счёт специфичности технологии, а именно независимости химического состава электролита от режима заряда, литий-ионные батареи постоянно выдают около 100 процентов своей ёмкости.

Отдача энергии литий-ионным аккумулятором на всем полезном диапазоне заряда также значительно улучшена, что обеспечивает его полную мощность, например при запуске двигателя, практически независимо от текущего уровня заряда.

После запуска двигателя новый аккумулятор от Porsche демонстрирует дополнительные преимущества: за счёт меньшего внутреннего сопротивления он принимает больше энергии в процессе заряда, чем обычные батареи, и, следовательно, перезаряжается быстрее.

Ещё одним преимуществом литий-ионного аккумулятора является способность выдерживать значительно большее количество циклов заряда – разряда, а также низкий уровень саморазряда и увеличенный срок службы батареи.

Литий-ионные батареи, представляемые компанией Porsche, производятся с использованием электродов из углерода и фосфата железа с керамической прослойкой, увлажнённой электролитом и выступающей в качестве сепаратора.

По сравнению с другими типами литий-ионных батарей, в которых использованы комбинации оксида марганца, оксида кобальта или никеля, литий-железо-фосфатный аккумулятор (как он правильно называется) имеет ряд преимуществ при использовании в качестве стартерной батареи. Он надёжен и гарантирует устойчивое стандартное 12-вольтное напряжение в бортовой сети автомобиля.

Батареи состоят из четырёх элементов и электронного блока управления. Данная система управления защищает аккумулятор от сильного разряда и обеспечивает постоянный уровень заряда в отдельных ячейках. Как только напряжение на клеммах аккумулятора падает ниже определённого порога, предупредительный сигнал напоминает водителю о необходимости перезарядки батареи либо от работающего двигателя при движении автомобиля, либо с помощью обычного зарядного устройства.

Щелочные аккумуляторы

Щелочные аккумуляторы получили своё название по электролиту, который в них работает. В большинстве случаев это водный раствор КОН (едкий калий) или NaOH (едкий натрий). Этот вид аккумуляторов имеет ряд преимуществ перед кислотным типом батарей, но не лишён и недостатков.

Самыми распространёнными видами щелочных батарей являются никель-кадмиевые и никель-металлогидридные (ещё их называют никель-железные). У обоих типов аккумуляторов в заряженном состоянии активная масса положительного электрода состоит из NiOOH (гидроокись никеля) с добавлением окиси бария и графита. Графит предназначен для увеличения электропроводности активной массы. Добавка окиси бария увеличивает срок эксплуатации щелочного аккумулятора.

Активная масса отрицательного электрода в случае никель-металлогидридного аккумулятора представляет собой порошкообразное железо (Fe) и его окислы. В ней присутствуют добавки сернистого железа и сернокислого никеля. В случае никель-кадмиевых батарей активная масса отрицательного электрода представляет собой смесь порошка кадмия (Cd) и железа. В качестве электролита для щелочных аккумуляторов применяется водный раствор едкого калия (20 %). В электролит добавляется моногидрат лития в количестве 20–30 граммов на литр. Эта добавка увеличивает срок эксплуатации аккумуляторной батареи.

Когда происходит разряд батареи, на положительном электроде идёт реакция гидроокиси никеля (NiOOH) с ионами электролита для щелочного аккумулятора. В результате образуется гидрат закиси никеля $Ni(OH)_2$. На отрицательном электроде кадмий и железо превращаются в гидрат окиси кадмия ($Cd(OH)_2$) и железа ($Fe(OH)_2$). Протекание тока по внешней и внутренней сети обеспечивает разность потенциалов (примерно 1,45 вольта) щелочного аккумулятора. Таким образом обеспечивается работа щелочного аккумулятора.

Когда происходит заряд щелочной АКБ, то под воздействием тока активная масса положительных пластин окисляется. Гидрат закиси никеля $Ni(OH)_2$ переходит в гидроокись никеля (NiOOH). В активной массе отрицательных электродов при заряде идёт восстановление с образованием кадмия и железа.

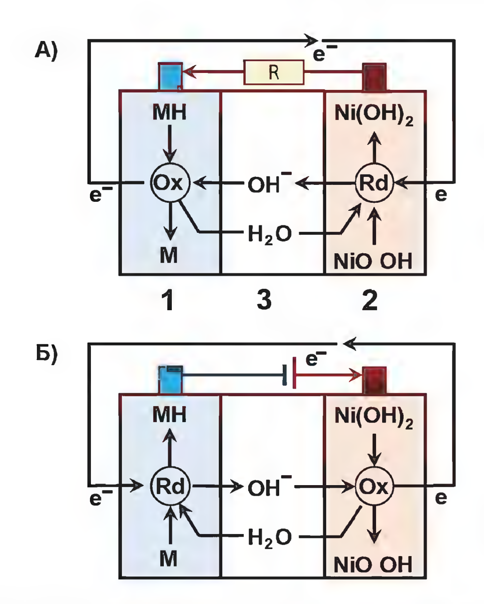


Рис. 2.17. Электрохимические процессы в никель-металлогидридной аккумуляторной батарее:
А – разряд, Б – заряд; 1 – анод, 2 – катод, 3 – электролит, R – сопротивление

Ниже представлены реакции, происходящие в процессе разряда-заряда, представлены следующими уравнениями:

Щелочная АКБ NiMH:

$$2Ni(OOH) + 2KOH + Fe \Rightarrow 2Ni(OH)_2 + 2KOH + Fe(OH)_2.$$

Щелочная АКБ NiCd:

$$2Ni(OOH) + 2KOH + Cd \Rightarrow 2Ni(OH)_2 + 2KOH + Cd(OH)_2.$$

Щелочные аккумуляторные батареи можно встретить в роли стартерных на автомобилях. Правда, выпускаются они в основном только для некоторых грузовых автомобилей, а также для военной техники. На легковых автомобилях они встречаются редко.

Примером может служить аккумуляторная батарея 10НКМ-40СТ (аналог батареи 6СТ55А) (см. рис. 2.18), которая для создания напряжения 12 В содержит не шесть, а десять аккумуляторов.



Рис. 2.18. Стартерная щелочная аккумуляторная батарея 10НКМ-40СТ

Достоинства щелочных аккумуляторных батарей:
- длительный срок службы при правильной эксплуатации;
- возможность глубокого разряда;
- работа при отрицательных температурах без потери свойств;
- небольшой саморазряд;
- небольшой удельный вес.

При падении температуры ниже 25 °С ёмкость щелочного аккумулятора понижается с каждым градусом на 0,5 процента. Показатель лучше, чем у свинцово-кислотных батарей, практически в два раза.

Недостатки щелочных аккумуляторных батарей:
- эффект памяти, приводящий к потере ёмкости. Появляется, если не разряжать щелочной аккумулятор до конца;
- существенный разброс рабочего напряжения элементов (1–1,75 В). Для набора под 12-вольтный аккумулятор разброс уже составит 10–17,5 В. Для работы в таком диапазоне напряжений нужно специальное зарядное устройство;
- КПД заряда у щелочных АКБ составляет всего 55 %, тогда как у кислотных АКБ этот показатель равен 80 %;
- обслуживание должен выполнять квалифицированный работник, поскольку в щелочных аккумуляторах периодически необходимо менять электролит.

Тяговая батарея

Для перекрытия пиковых мощностей и быстрых смен нагрузок, а также для повышения коэффициента полезного действия система топливных элементов располагает аккумулятором высокой мощности. Применяются никелевые металлогидридные или ионно-литиевые аккумуляторы с максимальными мощностями около 50 кВт. С целью получения высоких мощностей последовательно

включаются до 240 элементов высокой мощности, обеспечивая напряжение 200–300 В.

Для контроля и диагностики состояния комплекта аккумулятора на пакете элементов размещена система управления батареей (BMS), которая рассчитывает степень заряженности и эффективную мощность. Кроме того, в систему управления батареей интегрированы датчики температуры, напряжения и силы тока.

12-вольтный вентилятор перекачивает через тяговую батарею охлаждающий воздух для её охлаждения.

Конструкция системы батареи транспортных средств со средне- и полногибридными силовыми установками состоит из блока элементов аккумуляторной батареи, системы управления батареей, системы охлаждения, отвода газов и блока переключения и защиты (рис. 2.19).

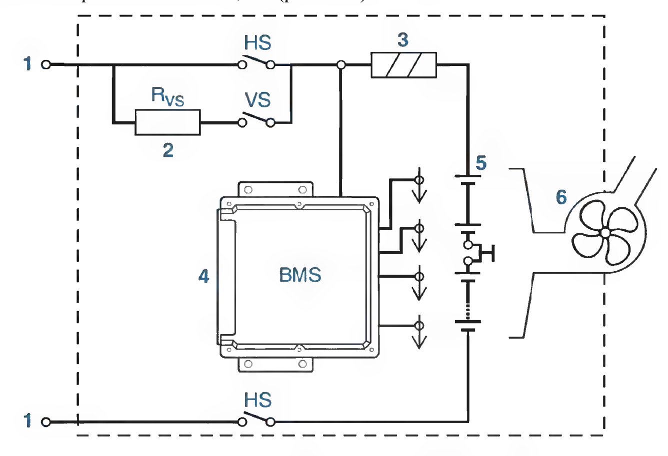


Рис. 2.19. Обзор системы высоковольтной батареи:
1 – клеммы батареи, 2 – сопротивление предварительной зарядки,
3 – предохранитель, 4 – система управления батареей, 5 – блок элементов батареи,
6 – вентилятор охлаждения, HS – главный контакт, VS – контакт предварительной зарядки

§ 2.2. Назначение аккумуляторных батарей и требования, предъявляемые к ним

Основная функция батареи – надёжный пуск двигателя.

Другая функция – энергетический буфер при работающем двигателе. Ведь наряду с традиционными видами потребителей появилось множество

дополнительных сервисных устройств, повышающих комфорт водителя и безопасность движения. Батарея компенсирует дефицит энергии при движении по городскому циклу с частыми и длительными остановками, когда генератор не всегда может обеспечить отдачу мощности, необходимую для полного обеспечения всех включённых потребителей.

Третья рабочая функция – энергоснабжение при выключенном двигателе. Однако длительное использование электроприборов во время стоянки с неработающим двигателем (или двигателем, работающем на холостом ходу) приводит к глубокому разряду батареи и резкому снижению её стартерных характеристик.

Батарея предназначена ещё и для аварийного электропитания. При отказе генератора, выпрямителя, регулятора напряжения или при обрыве ремня генератора она должна обеспечить работу всех потребителей, необходимых для безопасного движения до ближайшей станции технического обслуживания.

Итак, стартерные батареи должны удовлетворять следующим основным требованиям (ГОСТ Р 53165–2008):

- обеспечивать нужный для работы стартера разрядный ток, то есть обладать малым внутренним сопротивлением для минимальных внутренних потерь напряжения внутри батареи;
- обеспечивать необходимое количество попыток пуска двигателя с установленной продолжительностью, то есть иметь необходимый запас энергии стартерного разряда;
- иметь достаточно большую мощность и энергию при минимально возможных размерах и массе;
- обладать запасом энергии для питания потребителей при неработающем двигателе или в аварийной ситуации (резервная ёмкость);
- сохранять необходимое для работы стартера напряжение при понижении температуры в заданных пределах (ток холодной прокрутки);
- сохранять в течение длительного времени работоспособность при повышенной (до 70 °C) температуре окружающей среды;
- принимать заряд для восстановления ёмкости, израсходованной на пуск двигателя и питание других потребителей, от генератора при работающем двигателе (приём заряда);
- обладать герметичностью. Электролит не должен выливаться при наклоне на 45°;
- не требовать специальной подготовки пользователей, обслуживания в процессе эксплуатации;
- иметь высокую механическую и вибрационную прочность, соответствующую условиям эксплуатации;
- сохранять указанные рабочие характеристики продолжительное время в процессе эксплуатации. Срок службы батареи должен составлять не менее 24 (48) месяцев или 90 (100) тыс. км пробега;
- обладать незначительным саморазрядом;
- иметь невысокую стоимость.

§ 2.3. Устройство и принцип работы свинцово-кислотного аккумулятора

Когда металлический электрод (например, из свинца) погружается в электролит (например, серную кислоту), в электролите растворяются ионы металла. Данные ионы металла заряжены положительно и оставляют электроны на электроде. Вследствие этого электрод обладает электрическим потенциалом. Это противодействует дальнейшему растворению ионов, таким образом, возникает баланс между растворением и осаждением ионов металла при поглощении электронов.

Подобным образом ведёт себя электрод из PbO_2, только в данном случае происходит превращение заряженных ионов свинца (Pb^{2+} и Pb^{4+}). Различные электроды обладают различным потенциалом, таким образом. возникает напряжение аккумуляторов как разница данных потенциалов. В заряженном свинцовом аккумуляторе (рис. 2.20) положительный электрод главным образом состоит из диоксида свинца (PbO_2), отрицательный электрод – из чистого свинца (Pb). В качестве электролита служит разбавленная серная кислота (H_2SO_4 плюс H_2O).

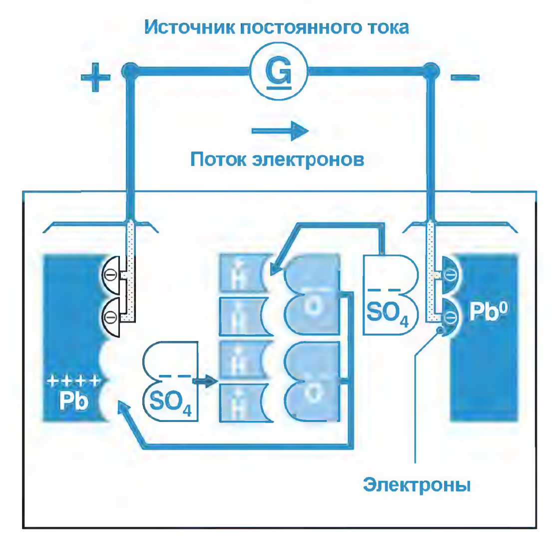


Рис. 2.20. Процесс заряда свинцового аккумулятора

Перенос тока осуществляется с помощью ионной электропроводности. В водном растворе молекулы серной кислоты расщепляются на положительно

заряженные ионы водорода (H^+) и отрицательно заряженные ионы кислотного остатка (SO_4^{2-}). Расщепление является предпосылкой для проводимости электролита и также для прохождения зарядного или разрядного тока.

Заряд батареи

Батарея заряжается во время движения, когда генератор поставляет достаточное количество зарядного тока. Разряженная батарея может вновь заряжаться с помощью зарядного устройства батареи.

Во время процесса заряда положительный электрод свинцового аккумулятора связан с положительным полюсом, отрицательный электрод – с отрицательным полюсом источника постоянного напряжения (генератор или зарядное устройство). Процесс заряда – в отличие от процесса разряда, который будет описываться позже, – запускается при подаче электрической энергии, таким образом, все аккумуляторы достигают после зарядки более высокого энергетического уровня. На рисунках 2.20 – 2.23 схематически изображены процессы, происходящие между отдельными частицами массы электродов и электролитом.

Источник зарядного напряжения обеспечивает в аккумуляторе перенос заряда от положительного электрода к отрицательному. Он побуждает к действию электроны отрицательного электрода. При этом на данном электроде из положительного двухатомного свинца (Pb_2) возникает – при расщеплении молекулы сульфата свинца – свинец (Pb) «с нулевым значением» (металлический). Одновременно освободившиеся отрицательно заряженные ионы кислотного остатка (SO_4^{2-}) переходят из отрицательного электрода в электролит (рис. 2.20).

На положительном электроде при переносе электронов положительный двухатомный свинец (Pb^{2+}) превращается в положительный четырёхатомный свинец (Pb^{4+}). При этом сульфат свинца ($PbSO_4$) расщепляется электрохимически в результате приложенного зарядного напряжения. Положительный четырёхатомный свинец соединяется с кислородом, извлечённым из воды (H_2O), в диоксиде свинца (PbO_2). Одновременно освободившиеся во время процесса окисления на положительном электроде ионы сульфата (SO_4^{2-} из сульфата свинца $PbSO_4$) и ионы водорода (H^+ из воды) переходят в электролит.

Уравнение реакции процесса заряда следующее:

$$2PbSO_4 + 2H_2O => PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb.$$

Вследствие процесса зарядки повышается количество ионов водорода (H^+) и ионов сульфата (SO_4^{2-}) в электролите. Это означает, что серная кислота (H_2SO_4) образуется вновь, причём плотность электролита ρ увеличивается (в заряженном аккумуляторе обычно $\rho = 1{,}28$ кг/л). Это соответствует содержанию серной кислоты приблизительно 37 %. Поэтому путём измерения плотности электролита можно определить уровень заряда батареи.

Заряд завершён (рис. 2.21), после того как:

- сульфат свинца ($PbSO_4$) на положительном электроде превратился в диоксид свинца (PbO_2),
- сульфат свинца ($PbSO_4$) на отрицательном электроде – в металлический свинец (Pb);

– зарядное напряжение, а также плотность кислоты ρ при дальнейшем заряде уже не увеличиваются.

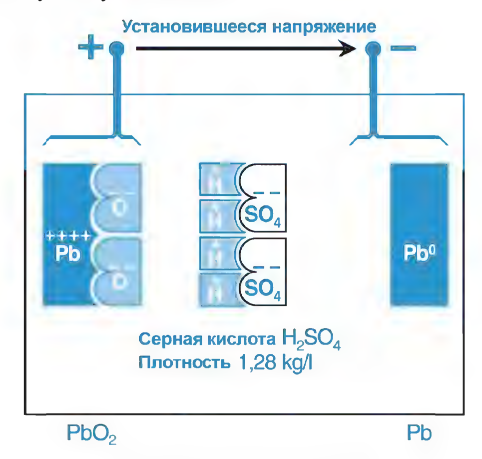


Рис. 2.21. Заряженный аккумулятор

Газовыделение

Благодаря процессу заряда направляемая электрическая энергия преобразуется в химическую энергию и сохраняется. Если заряд продолжается после полного заряда, продолжается разложение воды. На положительной пластине образуется кислород (O_2), на отрицательной пластине – водород (H_2). Данный процесс называется газовыделением. Иногда требуется добавление воды.

Перезаряд можно сократить, например, ограничив время заряда.

Заряд батареи сильно зависит от режима работы транспортного средства (например, пробка, остановка, начало движения или спокойное движение). Генератор приводится в действие двигателем, производство энергии генератором увеличивается с растущей частотой вращения двигателя. Поэтому, например, при длительном времени ожидания в пробке или перед светофором при холостом ходе двигателя частота вращения генератора соответственно ниже и, как следствие, ниже зарядный ток. Отсутствие длительных поездок отрицательно влияет на баланс электроэнергии. Если, напротив, есть возможность совершать длительные путешествия по дорогам или автобанам, частота вращения двигателя в среднем доходит до верхнего диапазона, и зарядный ток, соответственно, выше.

Разряд (потребление тока)

Направление тока и электрохимические процессы происходят при разряде батареи обратно заряду. Если оба полюса одной батареи соединены друг

с другом посредством потребителя (например, лампа накаливания), электроны в результате имеющейся разницы потенциалов двух полюсов (6-кратное напряжение аккумулятора) переходят от отрицательного электрода через потребитель к положительному электроду.

Посредством перехода электронов положительный четырёхатомный свинец (Pb^{4+}) положительного электрода превращается в положительный двухатомный свинец (Pb^{2+}), а соединение ранее положительного четырёхатомного свинца прерывается на атоме кислорода (O) (рис. 2.22).

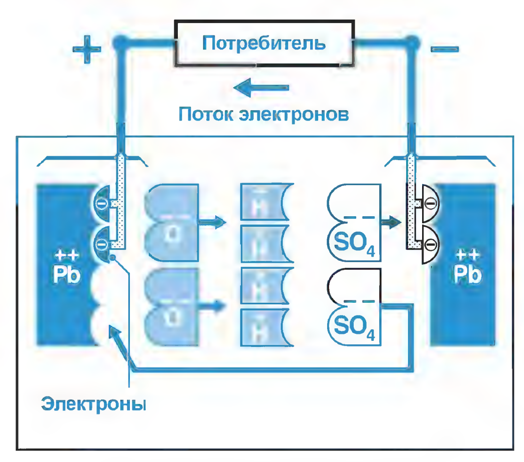


Рис. 2.22. Процесс разряда аккумулятора

Высвободившиеся в результате этого атомы кислорода соединяются с ионами водорода (H^+), которые извлекаются из серной кислоты (H_2SO_4), в воду (H_2O). Плотность электролита сокращается. При разряженной батарее она практически всегда ниже $\rho = 1,12$ кг/л. Это соответствует содержанию приблизительно 17 % серной кислоты.

На отрицательном электроде в результате перехода электронов из металлического свинца (Pb) к положительному электроду также образуется положительный двухатомный свинец (Pb^{2+}). Двойные отрицательно заряженные ионы кислотного остатка (SO_4^{2-}) из серной кислоты соединяются с двухатомным положительным свинцом обоих электродов. Таким образом, в результате разрядки на обоих электродах возникает сульфат свинца ($PbSO_4$) (рис. 2.23).

Уравнение реакции процесса разряда следующее:

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb \Rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O.$$

Оба электрода вновь достигли исходного состояния: химическая энергия, сохранённая в аккумуляторе, вновь преобразуется в электрическую энергию посредством процесса разряда.

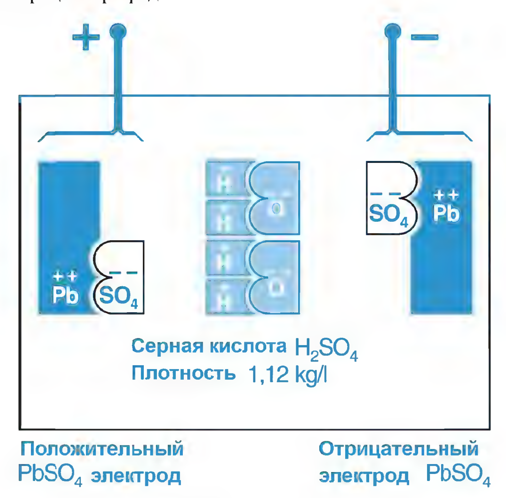


Рис. 2.23. Разряженный аккумулятор

§ 2.4. Устройство стартерной аккумуляторной батареи

Стартерная батарея 12 В обладает шестью последовательно включаемыми аккумуляторами, которые разделены между собой перегородками и находятся внутри моноблока из полипропилена (рис. 2.24). Аккумулятор включает набор отрицательных и положительных пластин. Эти наборы, в свою очередь, состоят из пластин (свинцовая решётка и активная масса) и микропористого материала (сепаратор) который изолирует пластины противоположных полярностей. Сепараторы образуют карманы, в которые погружаются пластины.

Электролит представляет собой раствор серной кислоты, который проникает в поры пластин и сепараторы, а также в пустоты гальванических элементов. Полюсные выводы, соединительные элементы гальванических элементов и перемычки пластин выполнены из свинца; щели в перегородках межэлементных соединений тщательно уплотнены. Для обеспечения герметичной связи цельной крышки с корпусом аккумуляторной батареи используется процесс горячей опрессовки. В традиционных батареях каждый аккумулятор снабжён пробкой,

которая служит для первичного заполнения, обслуживания и отведения газов, возникающих при зарядке.

На сегодняшний день в новых транспортных средствах устанавливаются исключительно батареи, не требующие обслуживания, так как для них не требуется регулярная проверка уровня электролита водителем. Внешне они полностью закрыты. Но несмотря на это они имеют отверстия для выведения газов, чтобы газ, возникающий в небольших количествах при зарядке от генератора, мог улетучиваться.

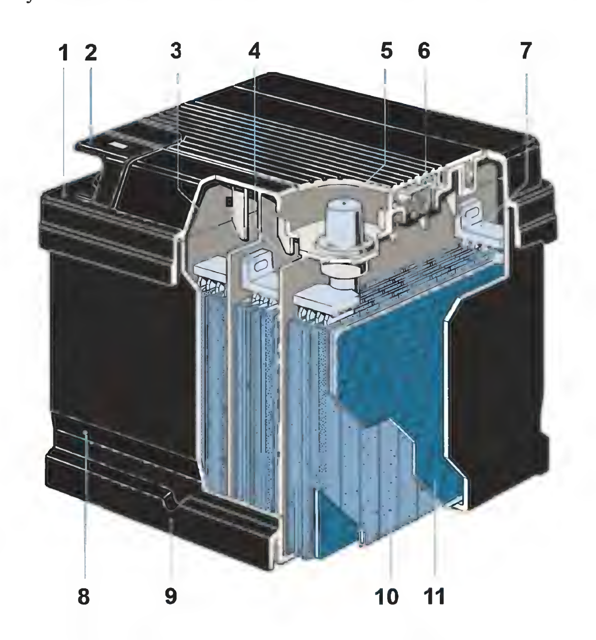


Рис. 2.24. Конструкция стартерной аккумуляторной батареи:
1 – крышка моноблока батареи, 2 – крышка полюсов, 3 – межэлементное соединение, размещённое внутри моноблока батареи, 4 – межэлементная перегородка, 5 – полюсный вывод, 6 – пробки под защитной крышкой, 7 – баретка, 8 – моноблок, 9 – отбортовка, 10 – положительные пластины в сепараторах из фольги. 11 – отрицательные пластины

Моноблок (рис. 2.24, поз. *8*) – корпус батареи, состоит из кислотостойкого изоляционного материала (полипропилена) и обладает в большинстве типов конструкций отбортовкой (поз. *9*) для фиксации в транспортном средстве.

Моноблок разделяется на аккумуляторы (банки) посредством перегородок. Данные аккумуляторы являются основным элементом батареи. В них находятся блоки пластин (поз. *10*, *11*) с положительными и отрицательными пластинами, а также сепараторами. Последовательное включение ячеек происходит с помощью межэлементного соединения, размещённого внутри моноблока (поз. *3*), которое обеспечивает соединение через отверстия в стенках ячеек.

Аккумуляторы с блоками пластин закрываются и запечатываются общей крышкой моноблока (рис. 2.24, поз. *1*), образуя неразборную конструкцию.

Блоки пластин состоят из параллельно включаемых отрицательных и положительных пластин (решетчатых пластин), а также из сепараторов (рис. 2.24, поз. *10*). Ёмкость ячеек зависит, в частности, от количества и площади данных пластин. Их толщина выбирается в зависимости от использования батареи и варьируется в диапазоне между 1 и 3 мм.

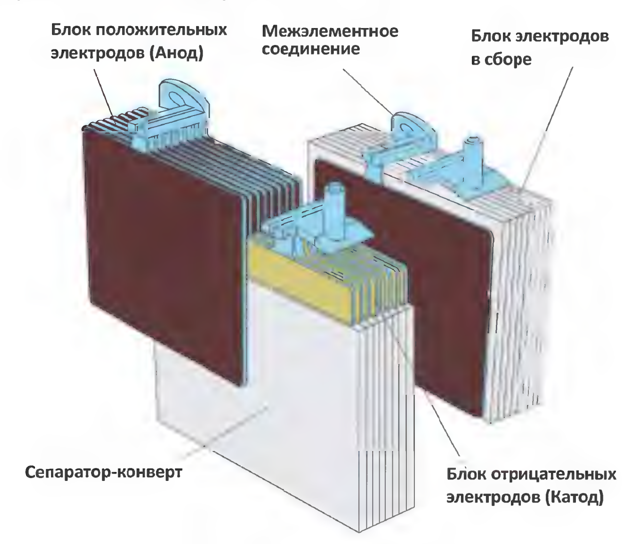


Рис. 2.25. Устройство аккумулятора

Электрод каждой полярности состоит из активной массы, нанесённой на токоотвод решетчатой конструкции (решётку). Токоотвод аккумулятора (рис. 2.25) выполняет двойную функцию. Он является не только проводником первого рода, по которому генерируемая активной массой электрическая энергия передаётся посредством мостов, борнов и перемычек во внешнюю электрическую цепь, но и служит конструкционным элементом, обеспечивающим механическое удержание

активной массы и возможность параллельного соединения электродов между собой в блоки при помощи ушек. Он представляет собой сетку, состоящую из вертикальных или наклонных рёбер и горизонтальных жилок, расположенных внутри прямоугольной рамки. В верхней части рамки выполнено ушко, которое служит для параллельного соединения электродов в блок при помощи полюсного мостика (баретки).

Активная масса положительной пластины включает пористый диоксид свинца (PbO_2, коричнево-оранжевого цвета), отрицательной пластины – чистый свинец (Pb. металлического серо-зелёного цвета) в форме «губчатого свинца». то есть в очень пористой форме.

При производстве активной массы для батареи из оксида свинца (PbO), который содержит 5–15 % свободно распределяющегося металлического свинца (серый оксид), в смесителе путём добавления воды (H_2O), разбавленной серой кислоты (H_2SO_4) и при необходимости дополнительных добавок и коротких синтетических волокон получаем тестообразную массу. При этом образуются базовые сульфаты свинца. Оксид свинца и металлический свинец частично сохраняются. Все ещё тестообразная масса наносится на свинцовую решётку и там затвердевает.

В ходе заключительной формовки при электрохимическом превращении данной массы при первоначальной зарядке активная масса образует уже готовую пластину; это выполняется исключительно производителем аккумуляторных батарей.

Сепараторы

Так как батареи транспортных средств должны экономить место и вес. положительные и отрицательные пластины расположены близко друг к другу, обычно на расстоянии от 0,8 до 1,5 мм между собой. Они не должны соприкасаться, иначе батарея сразу выйдет из строя вследствие короткого замыкания. Поэтому до последнего времени в батарее использовались ребра на дне для фиксации пластин (см. рис. 2.26). Дополнительно размещались перегородки (сепараторы) между отдельными пластинами блока.

Сепараторы пакетного типа современных батарей следят за тем, чтобы между пластинами различной полярности оставалось достаточно места и они были отделены друг от друга электрически (гальванически изолированы). В качестве материала сепаратора используется пористый, устойчивый к окислению и кислотам полиэтилен, в который заворачивают как в пакет отрицательные и положительные пластины. Сепараторы не должны препятствовать миграции ионов в электролите (серной кислоте). Кроме того, они должны состоять из кислостойкого, но проницаемого (микропористого) материала, чтобы кислота батареи могла проходить сквозь них. Микропористая структура необходима также потому, что мелкие волокна свинца, проходящие через сепаратор, могут вызвать короткое замыкание и поэтому должны удерживаться.

При протекании электродных реакций у положительного электрода происходит более значительное изменение концентрации и плотности электролита, чем у отрицательного.

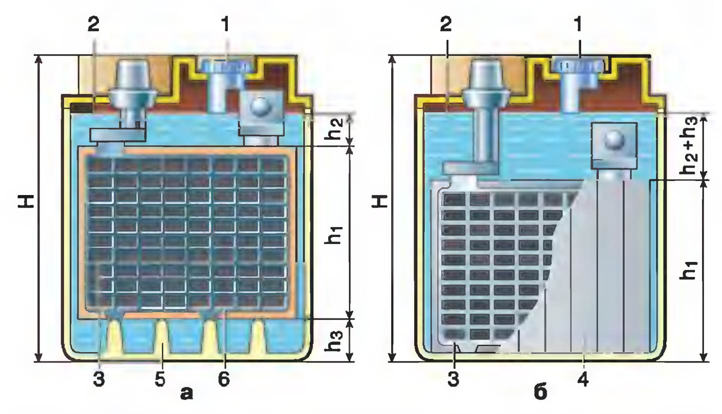


Рис. 2.26. Схематическое изображение перераспределения электролита при использовании сепаратора-конверта:
а – традиционные батареи, б – необслуживаемые батареи с конвертами;
1 – пробка, 2 – уровень электролита в батарее, 3 – электрод,
4 – сепаратор-конверт, 5 – призмы шламового пространства,
6 – сепаратор-карточка, H – высота батареи, h_1 – высота электрода,
h_2 – запас электролита в батареях с листовым сепаратором; h_3 – высота призм;
$h_2 + h_3$ – запас электролита в батареях с сепаратором-конвертом

Рис. 2.27. Сепаратор-конверт из полиэтилена:
1 – полиэтиленовый слой

Поэтому сторона сепаратора, обращённая к положительному электроду, выполнена ребристой для облегчения доступа электролита к поверхности активной массы. Высота ребра, как правило, превышает половину толщины электрода. В современных модификациях сепараторов на стороне, обращённой к отрицательному электроду, также выполнены ребра высотой 0,2–0,4 мм для улучшения условий диффузии и у этого электрода.

Снижение уровня электролита и увеличение саморазряда зависит от состава свинцового сплава для решёток пластин: с увеличением примесей происходит ухудшение свойств. Чистый свинец недостаточно жесток для изготовления решёток, поэтому для увеличения механической прочности и литейных свойств в него обычно добавляется сурьма.

Сурьма служит отвердителем, отсюда свинец для решётки также называют «гартблей» (сурьмянисто-свинцовый сплав). Все же сурьма в значительной степени отделяется в ходе эксплуатации вследствие коррозии положительной решётки, перемещается посредством электролита и сепаратор к отрицательной пластине и «отравляет» её, образуя локальные элементы. Данные локальные элементы повышают в первую очередь саморазряд отрицательной пластины и сокращают напряжение начала газовыделения. В обоих случаях результатом является повышенный расход воды при перегрузке, что, в свою очередь, требует высвобождения сурьмы. Данный механизм самоусиления приводит к постепенному сокращению производительности в течение эксплуатации. Прежде всего, в зимний период незначительный зарядный ток приводит к недостатку заряда. Батарея больше не достигает достаточно высокой степени заражённости, и необходимо часто проверять уровень электролита.

Так как батареи с сурьмянисто-свинцовым сплавом приспособлены к эксплуатации с частыми глубокими разрядами, прежде всего они устанавливаются в грузовые автомобили и такси. Батареи для мотоциклов также основываются на технологии использования сурьмы, так как частое использование в хорошую погоду и длительные простои в зимний период обуславливают установку батарей, приспособленных к эксплуатации с частыми глубокими разрядами.

Однако добавление сурьмы снижает напряжение газовыделения, что приводит к тому, что аккумулятор начинает кипеть при нормальном напряжении генератора. Поэтому в мировой практике появились свинцовые сплавы с уменьшенным содержанием сурьмы и бессурьмянистые свинцовые сплавы.

Малосурьмянистая технология

В малосурьмянистых батареях решётки пластин изготовлены методом литья из свинцово-сурьмянистого сплава с содержанием сурьмы до 1,8 %. Уменьшение количества сурьмы в сплаве позволило снизить интенсивность газовыделения из аккумуляторов и уменьшить саморазряд при отсутствии эксплуатации (как при хранении батареи, так и при бездействии автомобиля), что привело к снижению объёма технического обслуживания батарей. Такие батареи принято считать малообслуживаемыми. Для увеличения жёсткости решёток и улучшения литейных свойств в сплав добавляются легирующие элементы: медь – 0,02–0,05 %, олово – 0,2 %, селен – 0,02 % и др.

В батареях данного типа соотношение цена – качество для владельцев автомобилей с небольшим количеством электрических потребителей (авторадио, электрические стеклоподъёмники, центральный замок) является идеальным.

Гибридная технология

В 70-х годах прошлого века американские инженеры разработали и внедрили АКБ с пластинами из свинцово-кальциевого сплава. Эти АКБ имеют один недостаток – они чрезвычайно подвержены влиянию глубокого разряда. Поскольку с сугубо технической точки зрения главная проблема «кальциевой» батареи – оплывание активной массы на положительной пластине АКБ, было решено оставить положительную пластину малосурьмянистой.

Функцию отвердителя для отрицательной пластины вместо сурьмы выполняет кальций. Кальций электрохимически неактивен при существующих соотношениях потенциалов в свинцовой батарее. При этом отсутствует отравление отрицательной пластины, а саморазряд исключается. Важным является также стабильно высокое напряжение газовыделения в течение всего срока эксплуатации и сниженный расход воды, в отличие от сурьмянисто-свинцового сплава.

Ещё одним преимуществом гибридной батареи является простое изготовление. Отрицательная решётка со сплавом кальция изготавливается в большинстве случаев путём вытяжки, а положительная решётка из сплава сурьмы, подвергаемая более сильным механическим нагрузкам вследствие коррозии, – путём литья.

Применение таких решёток в аккумуляторах позволяет свести к минимуму их техническое обслуживание, то есть долив дистиллированной воды и подзарядку, поэтому гибридные аккумуляторные батареи считаются необслуживаемыми. Гибридные аккумуляторные батареи обладают также лучшими стартерными свойствами, устойчивостью к глубокому разряду батареи.

Однако вследствие содержания сурьмы гибридные батареи не отвечают существующим на сегодняшний день требованиям к незначительному расходу воды в легковых автомобилях (<1 г/А-ч).

Кальциевая технология

Самой высокотехнологичной среди свинцово-кислотных АКБ с жидким электролитом является «кальциевая» батарея. В последнее время не только американские, но и европейские производители начинают отдавать предпочтение таким АКБ при установке на конвейере. Для изготовления решёток положительных и отрицательных пластин применяется свинцово-кальциевый сплав с различными легирующими добавками, в сплав для решёток положительных пластин добавляются легирующие элементы, уменьшающие коррозию при подзарядке, такие как серебро (до 0,03 %) и олово (до 0,2 %).

Использование сплавов с добавлением кальция позволяет практически устранить газовыделение из аккумуляторов (при напряжении 14 В) и саморазряд, что делает такие аккумуляторные батареи полностью необслуживаемыми.

Чем меньше содержание сурьмы (а в кальциевых АКБ её вообще нет) в сплаве решёток положительных электродов, тем хуже АКБ переносят глубокие

разряды (то есть разряды ниже 50 % состояния заряженности), а также перезаряды. Причина этого кроется в постепенном, необратимом образовании непроводящего коррозионного слоя из оксида свинца PbO в месте контакта положительной решётки и активной массы, который увеличивает внутреннее сопротивление АКБ, что, в свою очередь, ухудшает её ёмкостные и стартерные характеристики.

Устойчивость к глубоким разрядам кальциевых АКБ повышают добавками в сплав решёток олова (которое действует аналогично сурьме, но гораздо менее эффективно) и присадками фосфорной кислоты в электролит. Все эти меры в полной мере указанную проблему так и не решают. Добавки серебра ингибируют коррозионные процессы на поверхности решёток и повышают стойкость кальциевых АКБ к перезарядам и к работе в условиях повышенных температур, но не имеют никакого отношения к улучшению сопротивляемости кальциевых АКБ к глубоким разрядам.

Кальциевые аккумуляторные батареи имеют также наилучшие стартерные свойства и увеличенный срок службы (до 6 лет). Однако кальциевые батареи не рекомендуется использовать на автомобилях с возможным глубоким разрядом батареи, например в такси и на автомобилях с большим разбросом по напряжению генератора (напряжение должно быть отрегулировано!).

Межэлементное соединение

Отдельные ячейки батареи включаются последовательно посредством межэлементного соединения. Для сокращения внутреннего сопротивления и веса в высококачественных батареях используется межэлементное соединение, размещённое внутри моноблока. Межэлементное соединение отдельных ячеек батареи обеспечивает соединение наикратчайшим путём через перегородки ячеек. Таким образом также предотвращается опасность короткого замыкания от внешнего контакта.

Полюсные выводы и клеммы батареи

Межэлементное соединение положительной пластины первой ячейки соединяется с положительным полюсом батареи, межэлементное соединение отрицательной пластины последней ячейки – с отрицательным полюсом. Оба полюсных вывода являются соединительными звеньями между бортовой сетью и батареей и состоят из сплава свинца. Их коническая форма обеспечивает прочную посадку и хороший контакт с клеммами батареи. Между этими двумя полюсными выводами создаётся напряжение около 12 В.

Положительный вывод (терминал) больше отрицательного для исключения возможности неправильного подключения аккумуляторной батареи.

К полюсным выводам с помощью специальных клемм подключаются соединительные провода транспортного средства. Для исключения неправильного соединения к полюсам (неправильная полярность) они имеют специальное обозначение и, кроме того, различную форму (отрицательный полюс обладает меньшим диаметром, чем положительный).

Существует три вида терминалов (см. рис. 2.29): боковой терминал с внутренней резьбой, характерный для аккумуляторных батарей североамериканского

рынка, цилиндрический терминал и L-образный терминал, используемый преимущественно на грузовых автомобилях. Ряд батарей может оснащаться одновременно как боковыми, так и верхними терминалами.

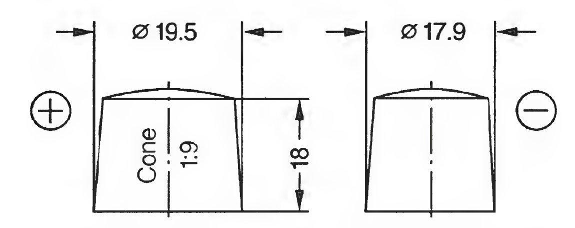


Рис. 2.28. Размеры полюсных выводов аккумуляторной батареи

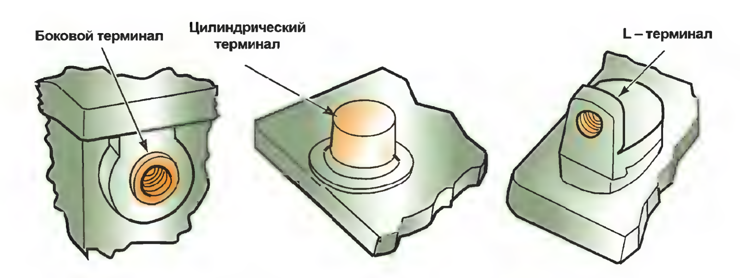


Рис. 2.29. Конструкция полюсных выводов (терминалов)

В зависимости от имеющегося в наличии пространства и расположения агрегата в транспортном средстве требуются батареи с различными размерами и расположением присоединительного полюса. Самая распространённая схема соединения (прямая полярность) изображена на рис. 2.30, *а* и *в*. Обратная полярность отличатся прямо противоположным расположением полюсных выводов (рис. 2.30. *б*).

В зависимости от типа батареи существует два типа исполнения крышки батарей:

– лабиринтная крышка (рис. 2.31. *а*),
– цельнолитая крышка (рис. 2.31, *б*).

В крышке моноблока с газопроводом газ, образующийся во время зарядки, выводится из батареи через шланг. Крышка моноблока имеет заглушку для каждого аккумулятора, которую можно удалить для долива и обслуживания. Для батарей, не требующих обслуживания, такие заглушки более не устанавливаются.

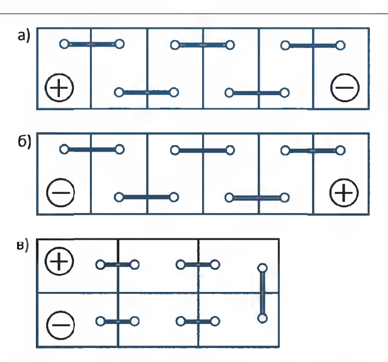


Рис. 2.30. Типичное расположение полюсных выводов

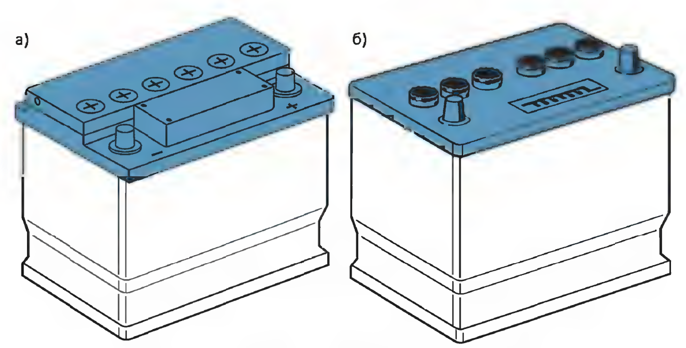


Рис. 2.31. Конструкция крышек аккумуляторных батарей:
а – лабиринтная крышка, б – цельнолитая крышка

Лабиринтная крышка (см. рис. 2.32), содержит систему каналов, в которых газы, образовавшиеся в процессе работы АКБ, конденсируются и остаются в батарее – в отличие от АКБ с вентиляционными пробками, где они просто испаряются, постоянно снижая общий уровень электролита. Такая конструкция крышки способствует сбережению воды, продляя срок службы АКБ. А в случаях, когда неисправность электросистемы автомобиля приводит к бурному газообразованию из-за превышающих токов системы, предусмотренные в конструкции крышки «пламегасители» обеспечивают полную пожарную безопасность батареи.

В цельнолитой крышке газопровод и лабиринт не предусмотрены. В данном случае газ выходит через заглушки, в которых предусмотрены отверстия для выведения газа.



Рис. 2.32. Лабиринтная крышка аккумуляторной батареи

Батареи, у которых отсутствуют отверстия для доливки воды и имеется только атмосферная связь внутренней полости с окружающей средой через небольшие вентиляционные отверстия на торцах крышки, обычно снабжены индикатором состояния заряженности (рис. 2.33): шарик-поплавок зелёного цвета размещён над пластинами и всплывает, когда электролит при заряде достигает определённой плотности.

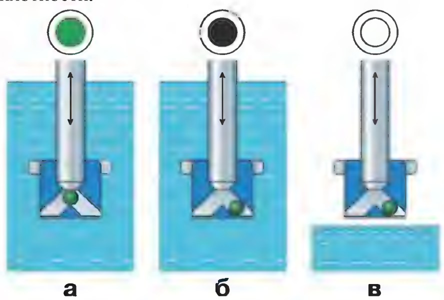


Рис. 2.33 – Схема работы индикатора состояния заряженности батарей:
а – аккумулятор заряжен (заряд больше 65 %) – зелёный глазок,
б – аккумулятор разряжен (заряд меньше 65 %), требуется подзаряд – чёрный глазок,
в – уровень электролита низок, аккумулятор должен быть заменён – белый глазок

Эта величина соответствует минимальной степени заряженности (62–64 % от номинального значения), при которой индикатор начинает давать информацию о работоспособности батареи в пусковом режиме. Дальнейшее повышение плотности электролита (до 100 % заряда) не изменяет показания индикатора (цветовое

отражение), что является недостатком данного приспособления. В случае снижения уровня электролита до оголения пластин индикатор перестает информировать водителя о состоянии заряженности батареи.

При работающем индикаторе его информация относится только к одному из шести аккумуляторов батареи. В тех случаях, когда возникает дефект в другом аккумуляторе, где нет индикатора, информация индикатора становится бесполезной, не отражающей общее состояние (работоспособность) батареи. Применение индикатора обеспечивает полезную информацию о состоянии батареи в тех случаях, когда последняя не содержит дефекта производственного характера.

§ 2.5. Типы аккумуляторных батарей

Малообслуживаемые батареи

Малообслуживаемые батареи оснащаются заливными пробками, имеющими вентиляционные отверстия. К их достоинствам можно отнести невысокую стоимость, большое количество моделей на рынке, пригодность для установки в моторном отсеке, возможность долива электролита.

К недостаткам таких батарей относят возможность выливания электролита и повышенный расход воды.

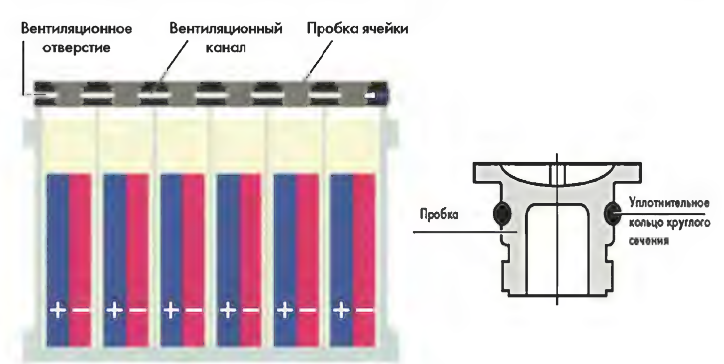


Рис. 2.34. Малообслуживаемые аккумуляторные батареи

Усовершенствованная АКБ с жидким электролитом (EFB)

На автомобилях, оборудованных системой «старт – стоп», в настоящее время могут применяться усовершенствованные АКБ с жидким электролитом.

Такие АКБ обозначены надписью EFB на крышке. EFB – это аббревиатура от английского Enhanced Flooded Battery (улучшенная, усиленная АКБ с жидким электролитом).

Аналогична АКБ с жидким электролитом, но дополнительно:

- более толстая решётка отрицательного электрода: это обеспечивает более высокую стойкость к коррозии, прежде всего – при нагрузке током большой силы;
- различные, в зависимости от производителя, меры по повышению качества активной массы положительного электрода;
- добавление углерода в активную массу отрицательного электрода; это приводит к улучшению приёма зарядного тока и тем самым к улучшению способности к зарядке;
- слегка увеличенная масса используемого свинца.

Преимущества:

- не требует обслуживания;
- большой срок службы;
- обеспечение холодного пуска до минус 25 °C;
- защита от глубокого разряда;
- отличные эксплуатационные характеристики;
- подходит для автомобилей с системой «старт – стоп»;
- для получения максимального количества циклов заряда – разряда располагается между малообслуживаемыми батареями и батареями со стекловолоконным наполнителем.

В усовершенствованных АКБ с жидким электролитом применяются пассивные перемешивающие элементы (см. рис. 2.35). Эти элементы уменьшают стратификацию (расслоение) электролита. Под *стратификацией электролита* подразумевается образование слоёв с различной концентрацией серной кислоты, возникающее при частом повторении процессов зарядки и разряда.

При этом серная кислота концентрируется в нижней части гальванических элементов, что, в свою очередь, приводит к недостаточной плотности электролита в их верхней части.



Рис. 2.35. Пассивный перемешивающий элемент

Батареи с предохранительными клапанами

Их также называют батареи типа VRLA (Valve Regulated Lead Acid Battery). В них пробки аккумуляторов не выворачиваются. Кислород, освобождённый на положительной пластине в результате распада молекулы воды во время зарядки, может переместиться на отрицательную пластину, на которой он удерживается до последующей рекомбинации с водородом, восстанавливая диссоциированную воду.

Таким образом обеспечивается замкнутый электрохимический цикл, который в принципе и в нормальных условиях эксплуатации не приводит к выводу газов из аккумулятора и/или расходу воды.

Подобные батареи не требуют обслуживания и пригодны для установки в моторном отсеке. К недостаткам таких батарей относят повышенную стоимость, отсутствие возможности долива электролита, высокие требования к зарядному напряжению (не более 14,4 В).

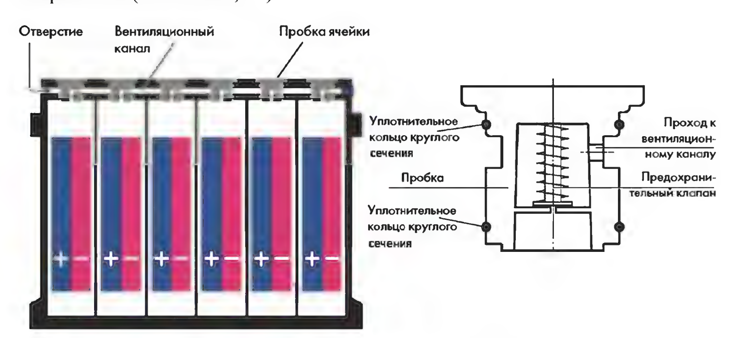


Рис. 2.36. Аккумуляторная батарея типа VRLA

В случае перезарядки аккумулятора, которая сопровождается интенсивным газовыделением внутри него, избыток газа выпускается через открывающийся предохранительный клапан, расположенный в крышке каждой ячейки. Этот клапан рассчитан на открытие при давлении приблизительно 0,2 бар в случае нового аккумулятора, а в условиях нормального использования он остаётся закрытым, предотвращая попадание воздуха в аккумулятор (кислород может разрядить отрицательную пластину).

Герметизированные батареи

Для производства герметизированных батарей разработаны методы связывания жидкого электролита:

– создание загущённого (гелеобразного) электролита;
– абсорбция жидкого электролита в сепараторах с высокой объёмной пористостью.

В качестве загустителя для получения гелеобразного электролита применяют силикагель, алюмогель и другие вещества. При смачивании серной кислотой эти вещества образуют тиксотропный гель. В качестве сепараторов в подавляющем большинстве герметизированных аккумуляторов применяют стекломаты из ультратонких волокон. Объёмная пористость современных стеклосепараторов достигает 80–85 %. Поэтому их используют не только для батарей с гелеобразным электролитом, но и для батарей с абсорбированным жидким электролитом. В последнем случае технология производства несколько дешевле, но ёмкостные показатели хуже, чем у батарей с гелеобразным электролитом. Это обусловлено ещё большим уменьшением количества электролита в батарее.

Свинцовые батареи с иммобилизованным электролитом являются герметизированными, но не являются герметичными, как, например, никель-кадмиевые герметичные аккумуляторы. Во всех свинцовых герметизированных батареях (аккумуляторах) имеется предохранительный клапан. Он служит для того, чтобы давление внутри аккумулятора не превышало величины, которая является предельно допустимой по условиям работоспособности и прочности корпусных деталей. Дело в том, что, несмотря на применяемые ограничения ёмкости положительных электродов, выделение водорода на отрицательном электроде в процессе заряда, особенно на заключительной его стадии, полностью подавить невозможно. Причём скорость его выделения в конце зарядного процесса несколько выше, чем скорость выделения кислорода. Избыточная часть водорода вызывает рост давления внутри аккумулятора, для ограничения которого и служит клапан.

Нормальная эксплуатация герметизированных свинцовых батарей возможна при соблюдении гораздо более жёсткого диапазона регулирования зарядного напряжения, чем при эксплуатации необслуживаемых батарей с жидким электролитом (даже не имеющих отверстий для доливки воды). Максимальная величина зарядного напряжения для батарей с загущённым (гелеобразным) электролитом составляет 14,35 В. В случае превышения этой величины на 0,05 В скорость газовыделения становится так велика, что нарушается равновесие кислородного цикла. Образующийся из-за этого избыток выделяющихся газов приводит к нарушению контакта активной массы электродов с электролитом, и батарея теряет работоспособность. У батарей с абсорбированным электролитом максимально допустимая величина зарядного напряжения ограничена 14,8 В.

Батареи типа AGM

Для выполнения дальнейших повышенных требований к батареям транспортных средств были разработаны батареи AGM (Absorbent Glass Mat, абсорбирующий стеклянный мат) то есть батареи с электролитом, связанным в стеклохолсте). Данные батареи отличаются от батарей со свободным электролитом тем, что серная кислота связана в стеклохолсте, который находится вместо сепаратора между положительными и отрицательными пластинами.

Батарея воздухонепроницаемо отделена от окружающей среды с помощью клапанов. Посредством внутренней циркуляции в батарее, возникающий во время газовыделения, кислород на положительной пластине вновь используется

на отрицательной пластине, образование водорода подавлено, и поэтому потери воды очень незначительны. Данная циркуляция позволяет создать между положительной и отрицательной решётками небольшие газопроводы, через которые транспортируется кислород. Клапаны открываются только при большом избыточном давлении. Закрытые батареи AGM обладают незначительной потерей воды и, таким образом, являются полностью необслуживаемыми.

Данная технология предлагает следующие преимущества. Данный слой является эластичным, поэтому можно установить комплект пластин под давлением. Путём прижатия данного слоя к пластинам сильно сокращается такой эффект, как выпадение в шлам и ослабление активной массы. При этом обычно увеличивается до трёх раз большая масса заряда, израсходованная в единицу времени, по сравнению со стартерными батареями. Более того, данный тип конструкции предлагает следующее преимущество: даже при повреждении корпуса батареи, например во время аварии, серная кислота не вытекает, так как она связана в стеклохолсте. При опрокидывании на 180° даже спустя продолжительный период времени электролит не вытекает. Благодаря высокой пористости стеклохолста достигаются высокие токи для пуска холодного двигателя.

Ещё одним преимуществом батареи AGM является предотвращение расслаивания кислоты. При циклической зарядке и разрядке батареи со свободным электролитом образуется перепад в плотности кислоты сверху вниз. Причиной этого является то, что при зарядке батареи на пластинах образуется серная кислота большей концентрации, которая вследствие большей удельной плотности опускается вниз и там собирается, в то время как в верхней части ячейки батареи остаётся серная кислота меньшей концентрации. Данное расслоение кислоты в большей или меньшей степени встречается во всех батареях со свободным электролитом. В батареях AGM, напротив, расслоение кислоты предотвращается путём использования стеклохолста, в котором связан электролит.

Следует обратить внимание на отсутствие слишком высоких температур в месте установки батареи AGM, так как теплоёмкость таких батарей меньше по сравнению с батареями со свободным электролитом.



Рис. 2.37. Аккумуляторная батарея типа AGM

Батареи с гелеобразным электролитом

Существенное отличие между аккумуляторами AGM и GEL заключается в том, что в последних электролит находится не в жидкой форме, а содержится в специальном силикагеле, в который погружены пластины, в то время как в аккумуляторах AGM электролит полностью абсорбирован специальной перегородкой из стеклянного микроволокна.

Аккумуляторы GEL, как правило, не используются в автомобильной отрасли в качестве пусковых аккумуляторов, поскольку высокая рабочая температура в моторном отсеке транспортных средств с тепловым двигателем существенно увеличивает объем геля, что отражается на электрических характеристиках и сроке службы аккумулятора. С другой стороны, очень низкая температура приводит к концентрации геля внутри ячейки, что приводит к увеличению внутреннего сопротивления аккумулятора. Это отрицательно сказывается на токе холодного пуска (−18 °С), который существенно уменьшается по сравнению с аккумуляторами, использующими технологию AGM, или со свободной кислотой.

Таким образом, аккумуляторы GEL больше подходят для энергетических, а не силовых областей применения, они используются в качестве промышленных буферных аккумуляторов, требующих повышенной стойкости к циклам разрядки и зарядки и/или длительного срока службы. Кроме того. их используют для питания вспомогательного оборудования в кемперах («домах на колёсах») в качестве альтернативы аккумуляторам AGM.

Батареи OPTIMA

Принципиально новой конструкцией является стартерная аккумуляторная батарея OPTIMA-850 (рис. 2.38), выполненная по технологии «ячеистых спиралей». Размеры батареи OPTIMA-850 не больше традиционной аккумуляторной батареи номинальной ёмкостью 55 А·ч. При этом по количеству выделяемой энергии в стартерном режиме разряда она сопоставима с аккумуляторной батареей номинальной ёмкостью 190 А·ч. Максимальная сила тока (ток холодной прокрутки), который батарея OPTIMA-850 отдаёт в течении 30 с при температуре −18 °С и при условии, что напряжение на её выводах не ниже 7,2 В, составляет 850 А. Батарея OPTIMA-850 отдаёт стартерный ток достаточно большой силы даже при температуре −40 °С.

Благодаря большей площади поверхности электродов данная батарея быстрее заряжается. По данным фирмы изготовителя от разряженного до полностью заряженного состояния батарея может быть доведена менее, чем за 1 ч. Для этого сила тока заряда должна быть равна 100 А при напряжении заряда 14,4 В.

Батарея OPTIMA-850 полностью герметизирована. Электролит находится в абсорбированном состоянии в микропорах ленты из специального стекловолокна (сепараторе), расположенной между свитыми в рулон электродами (пластинами) из высокочистых свинца и диоксида свинца в прочных изолированных секциях.

Аккумуляторы OPTIMA-850 с абсорбированным электролитом в микропористом стекловолокне абсолютно безопасны. Батарея таких аккумуляторов

может работать при любых углах наклона, даже при полном перевороте батареи вверх дном, без какого-либо риска вытекания электролита. Невелик и риск перезаряда батареи, так как она способна принимать заряд в широком диапазоне зарядного напряжения и силы зарядного тока. На случай нестандартной ситуации при заряде в батарее предусмотрены клапаны безопасности.

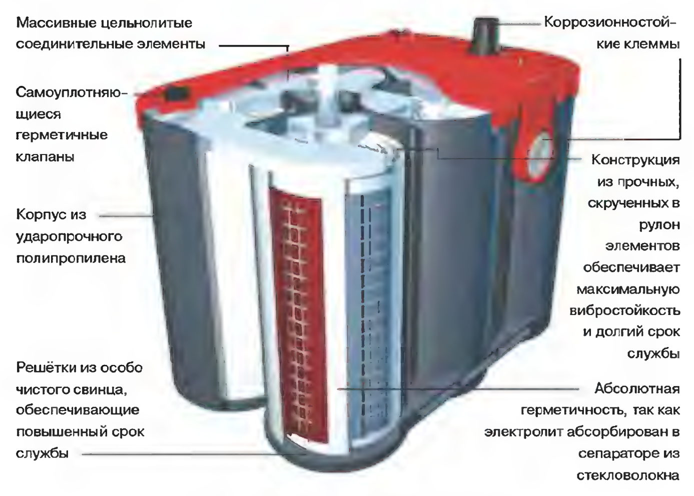


Рис. 2.38. Конструкция батареи OPTIMA

Батарея OPTIMA-850 не требует технического обслуживания в эксплуатации, обеспечивает не менее 12 000 циклов стартерного режима разряда, тогда как традиционные стартерные аккумуляторные батареи – не более 4000 циклов. Резервная ёмкость батареи OPTIMA-850 составляет 120 мин.

Достоинства батареи OPTIMA-850: не требует обслуживания, обладает высокой циклической стойкостью, не допускает возможности выливания электролита, обладает очень хорошими пусковыми качествами и сохраняет их даже после года хранения без подзарядки. Недостатки – высокая стоимость и большая масса.

§ 2.6. Маркировка аккумуляторных батарей

На каждой батарее в соответствии с требованиями международных стандартов должна быть маркировка, содержащая информацию о её напряжении, номинальной ёмкости, назначении и конструктивном исполнении. На рис. 2.39 показана типовая маркировка, применяемая на АКБ, выпускаемых в России.

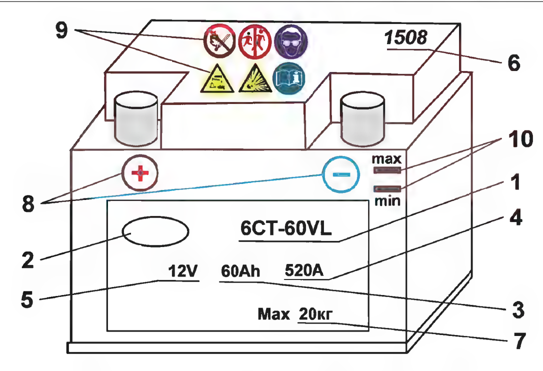


Рис. 2.39. Типовая маркировка, применяемая на АКБ, выпускаемых в России

Маркировка российских АКБ наносится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53165–2008. Она выполняется по следующей схеме:

1 – обозначение типа батареи;
2 – товарный знак завода-изготовителя;
3 – номинальная ёмкость аккумулятора в ампер-часах (А·ч или Ah);
4 – ток холодной прокрутки при −18 °С в амперах (А);
5 – номинальное напряжение в вольтах (В или V);
6 – дата изготовления (две цифры – месяц, две цифры – год изготовления);
7 – масса батареи в состоянии поставки с завода;
8 – знаки полярности;
9 – символы безопасности;
10 – уровень залитого электролита (min, max или другие обозначения предельных уровней).

Обозначение типа батареи включает в себя четыре позиции.

Первый элемент – цифра, указывающая число последовательно соединённых аккумуляторов в батарее (3, 6 или 12), характеризующая её номинальное напряжение.

Второй элемент – буквы, характеризующие назначение батареи по функциональному признаку (СТ – стартерная, Б – буферная).

Третий элемент – число, указывающее номинальную ёмкость батареи в ампер-часах (А·ч).

Четвёртый элемент – буквы, указывающие на величину эксплуатационного расхода воды. N – нормальный расход воды. L – малый расход воды. VL – очень малый расход воды, VRLA – батарея с регулирующим клапаном.

После условного обозначения батарей, предназначенных для внутреннего рынка, указывают обозначение технических условий на батарею конкретного

типа, а для батарей, предназначенных на экспорт – обозначение ГОСТ Р 53165–2008. Сплав, из которого изготовлены токоотводы и электроды, иногда указывают в рекламных целях.

Вся маркировка, предусмотренная требованиями стандартов, наносится на корпус или крышку батареи одним из двух методов:

– шелкографией, то есть нанесением краски по специальному трафарету;
– самоклеющимися этикетками.

В обоих случаях маркировка должна быть чёткой и прочной при воздействии на неё влаги и аэрозолей электролита и сохраняться в течение всего срока эксплуатации батареи.

Таблица 2.1

Символы безопасности в маркировке аккумуляторных батарей

Символ	Расшифровка
	Соблюдайте инструкцию
	Опасно. Едкие и коррозионные вещества
	Запрещается пользоваться открытым огнём и курить
	Пользуйтесь защитными очками
	Хранить вдали от детей
	Взрывоопасно
	Запрещается выбрасывать с бытовыми отходами
	Символ переработки

§ 2.7. Параметры и характеристики аккумуляторных батарей

К основным параметрам автомобильных АКБ относят ЭДС, напряжение под нагрузкой, внутреннее сопротивление, номинальную и разрядную ёмкость, ток холодной прокрутки и другие.

Напряжение аккумуляторов представляет собой разность потенциалов, которые возникают между положительными и отрицательными пластинами в электролите. Данные потенциалы зависят от материала пластин, от электролита и его концентрации. Напряжение аккумуляторов является непостоянной величиной и зависит от степени заряженности (плотности кислоты) и температуры электролита.

Для свинцовых батарей номинальное напряжение U_z одного аккумулятора установлено стандартами как 2 В. Номинальное напряжение всей батареи выводится путём умножения номинального напряжения одного аккумулятора на количество последовательно подключённых аккумуляторов батареи. Согласно стандарту, номинальное напряжение для стартерной батареи составляет 12 В.

Напряжение холостого хода и покоя

Напряжение холостого хода (электродвижущая сила, ЭДС) является напряжением ненагруженной батареи. Оно изменяется после процессов зарядки и разрядки вследствие процессов диффузии и поляризации до итогового значения, которое обозначается как напряжение покоя U_0 (рис. 2.40).

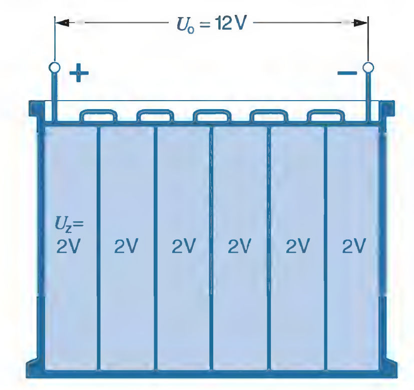


Рис. 2.40. Напряжение холостого хода (ЭДС) батареи

Напряжение покоя, как и напряжение аккумулятора, является величиной, зависящей от степени заряженности и температуры электролита. На основании

напряжения, измеренного непосредственно после зарядки или разрядки, нельзя определить степень заряженности. Только после времени простоя, которое, в зависимости от обстоятельств, может длиться несколько дней, настраивается напряжение покоя, которое может использоваться для оценки степени заряженности. Более подходящим для определения степени заряженности батареи является измерение плотности электролита.

Внутреннее сопротивление R_i

Внутреннее сопротивление R_i одного аккумулятора состоит из различных частичных сопротивлений. В частности, из переходного сопротивления R_i1 между электродами и электролитом (сопротивление поляризации). Сюда относится также сопротивление R_i2, которое противопоставляет электроды (пластины с сепараторами) электронному потоку, а также сопротивление R_i3, которое представляет электролиты потоку ионов. При последовательном включении нескольких аккумуляторов необходимо добавить также сопротивление межэлементного соединения R_i4. Итак, получаем следующее:

$$R_i = R_i1 + R_i2 + R_i3 + R_i4.$$

При увеличении количества пластин (бóльшая площадь) сокращается внутреннее сопротивление аккумулятора. Это означает, что чем больше мощность одного аккумулятора, тем меньше внутреннее сопротивление (при одинаковой толщине пластин). При прогрессирующей разрядке и низкой температуре (когда серная кислота становится вязкой) R_i, наоборот, повышается.

Внутреннее сопротивление 12 В стартерной батареи состоит из последовательного включения внутренних сопротивлений отдельных аккумуляторов, а также из сопротивлений внутренних элементов соединения (баретка и межэлементное соединение). При полностью заряженной батарее на 50 А·ч оно составляет при 20 °С порядка 5–10 мОм; при степени заряженности 50 % и температуре −25 °С оно повышается до приблизительно 25 мОм. Это основная величина для параметров пуска.

Напряжение на клеммах U_K

Напряжение на клеммах U_K является напряжением между обоими полюсными выводами батареи. Оно зависит от напряжения холостого хода и падения напряжения U_i на внутреннем сопротивлении R_i батареи (рис. 2.41).

Если потребитель с нагрузочным сопротивлением R_v извлекает из батареи разрядный ток I_e, напряжение на клеммах уменьшается при нагрузке по сравнению с напряжением в ненагруженном состоянии. Причиной этого является внутреннее сопротивление батареи.

Если ток $I_к$ проходит через ячейку, на R_i возникает падение напряжения U_i, которое увеличивается с растущим током. Так как внутреннее сопротивление, кроме всего прочего, зависит от температуры и степени заряженности, напряжение на клеммах нагруженной батареи уменьшается при низких температурах и плохой степени заряженности.

Посредством дополнительного измерения напряжения на клеммах нагруженной батареи можно определить её степень заряженности и степень износа.

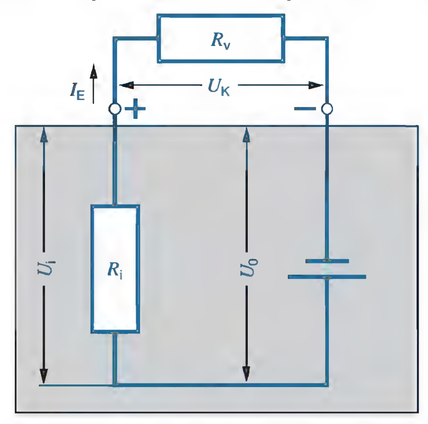


Рис. 2.41. Напряжение на клеммах батареи

Напряжение газовыделения

Напряжение газовыделения является зарядным напряжением, при превышении которого батарея начинает явно выделять газы. Это приводит к потере воды в батарее и возникает опасность образования гремучего газа. Для напряжения газовыделения в зависимости от типа конструкции действует ориентировочное значение от 2,40 до 2,45 В на аккумулятор. При 12 В батарее данное предельное значение напряжения составляет 14.4–14.7 В. в зависимости от температуры электролита.

Для необслуживаемых закрытых гелевых батарей указывается зарядное напряжение 14,1 В (2,35 В/аккумулятор) с временем зарядки максимум 48 часов.

Ёмкость

Ёмкостью С аккумулятора называется максимальное количество электричества, выраженное в ампер-часах, которое аккумулятор может отдать во внешнюю цепь при полном разряде до установленного конечного напряжения:

$$C = I_p \cdot \tau_p \,, \tag{2.1}$$

где I_p – разрядный ток, А;

τ_p – время разряда, ч.

В частности, ёмкость батареи определяется используемым количеством активной массы и количеством серной кислоты. Для большой мощности (например, высокого потребления тока при пуске двигателя внутреннего сгорания)

активная масса должна предоставлять в распоряжение большую внутреннюю и большую внешнюю поверхность (большое количество пластин и увеличенные геометрические размеры пластин). Большая внутренняя поверхность образуется во время электрохимической предварительной обработки пластин (формовки). Ёмкость является непостоянной величиной и зависит от следующих параметров влияния (см. рис. 2.42 и 2.43):

– силы разрядного тока;
– плотности и температуры электролита.
– протекания процесса разрядки во времени (ёмкость при разрядке с паузой больше, чем при непрерывной разрядке);
– старения батареи (уменьшения ёмкости к концу срока службы вследствие потери массы пластин);
– степени расслоения кислоты батареи.

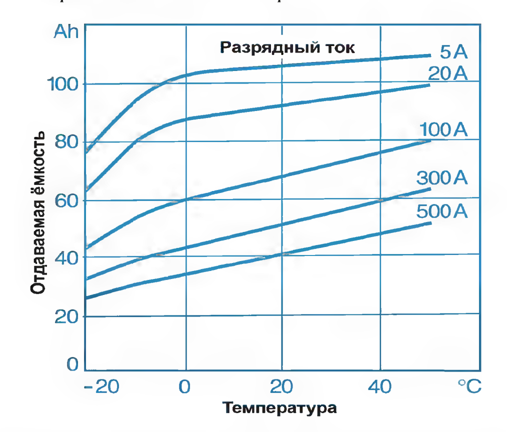


Рис. 2.42. Зависимость ёмкости от температуры и разрядного тока

Особенно важной является сила разрядного тока. Чем больше сила разрядного тока, тем меньше ёмкость, имеющаяся в распоряжении. Например, согласно рисунку 2.43. можно использовать имеющуюся в распоряжении ёмкость 44 А·ч при разрядном токе 2,2 А до 20 часов. При среднем токе стартера 150 А и 20 °С ёмкость, имеющаяся в распоряжении, уменьшается со временем разрядки за 8 минут до приблизительно 20 А·ч.

Причиной этого является то, что при небольшом разрядном токе электрохимические процессы проходят медленно и глубоко в порах пластины и при этом используются кислоты, находящиеся за пределами пластины (приблизительно 50 %), в то время как при зарядке с большим током преобразование

проходит главным образом на поверхности пластин с имеющимся в порах количеством кислоты.

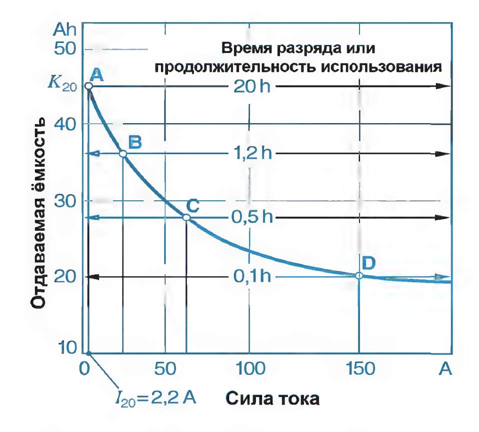


Рис. 2.43. Зависимость ёмкости батареи от силы разрядного тока (батарея 12 В, 44 А·ч):
A – 20-часовой разряд, B – зажигание и освещение, C – дополнительный нагнетатель, подогрев стекла, противотуманный свет, стеклоочиститель и радио, D – средний ток стартера

Ёмкость и напряжение разряда батареи увеличиваются при росте температуры, помимо прочего, вследствие незначительной вязкости (вязкотекучести) кислоты и обусловленного этим незначительного внутреннего сопротивления.

С понижением температуры они, наоборот, уменьшаются, так как химические процессы проходят менее эффективно. Поэтому ёмкость стартерной батареи нельзя измерить очень точно. При сильном морозе возникает опасность, что двигатель внутреннего сгорания при пуске не достигнет необходимой частоты вращения и будет работать недолго. Это показано на рис. 2.44.

Кривая *1a* показывает – в зависимости от температуры – частоту вращения стартера при разряженной на 20 % батарее (кривая *1b* – при сильно разряженной батарее), кривая *2* показывает необходимую для двигателя внутреннего сгорания минимальную начальную частоту вращения. Данная частота вращения при сильном морозе относительно высока вследствие большого сопротивления трения в двигателе транспортного средства (например, более высокая вязкость смазочного масла).

Точка пересечения S_l кривых *1a* и *2* указывает на предельное значение при пуске холодного двигателя (предельную температуру) при разряженной на 20 % батарее. Это означает, что при более низкой температуре или незначительной степени заряженности батареи пуск невозможен, так как мощность,

получаемая от батареи или стартера, меньше мощности, требуемой для пуска двигателя внутреннего сгорания. При сильно разряженной батарее предельное значение при пуске холодного двигателя (точка пересечения S_2) сдвигается к бóльшим температурам.

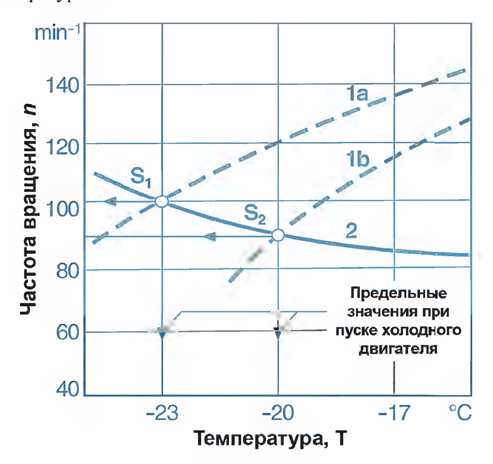


Рис. 2.44. Влияние температуры на частоту вращения при пуске и минимальную начальную частоту вращения двигателя:
1a – частота вращения стартера (батарея разряжена на 20 %),
1b – частота вращения стартера (батарея сильно разряжена),
2 – минимальная начальная частота вращения двигателя,
S_1, S_2 – предельные значения при пуске холодного двигателя

Номинальная ёмкость C_{20} является количеством электричества в ампер-часах (А·ч), предполагаемым для батареи. Данное количество электричества должно извлекаться с установленным разрядным током $I = 0{,}05 \cdot C_{20}$ за 20 часов до установленного конечного напряжения разряда 10,5 В при температуре (25 ±2) °С.

Резервная ёмкость характеризует величину времени в минутах, которое потребуется для разряда любой батареи (независимо от величины её ёмкости) током 25 А до конечного напряжения 10,5 В при температуре (25 ±2) °С. Величина разрядного тока 25 А при определении резервной ёмкости выбрана не случайно. По данным разработчиков систем электрооборудования автомобилей, именно такая минимальная величина тока должна потребляться электрооборудованием современного автомобиля для обеспечения его безопасного движения. Таким образом, получается, что величина резервной ёмкости показывает, сколько времени сможет продолжать двигаться автомобиль, используя только электрическую энергию АКБ в случае выхода из строя генератора

автомобиля, при условии, что на момент отказа генератора она была полностью заряжена.

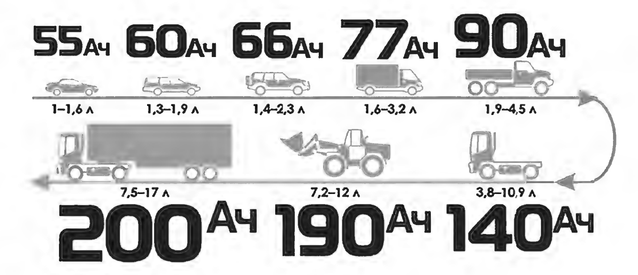


Рис. 2.45. Типичные значения номинальной ёмкости

У автомобильного аккумулятора номинальной ёмкостью 55 А·ч резервная ёмкость составляет 85–90 минут. Исходя из этого можно приблизительно посчитать резервную ёмкость любого аккумулятора, умножив показатель его номинальной ёмкости (количество ампер-часов) на 1,6. Результатом и будет значение резервной ёмкости в минутах.

Ток холодной прокрутки (CCA, cold cranking amps) измеряется в амперах и отражает стартерные характеристики АКБ. Ток холодной прокрутки CCA – это максимальный разрядный ток, который батарея может обеспечить при t = −18 °С (0 °F) в течение 30 с, сохраняя напряжение на выводах не менее 7,2 В.

Изменение напряжения и ЭДС аккумулятора при его заряде и разряде постоянным током показано на рис. 2.46.

В начале заряда происходит скачок напряжения на величину омических потерь внутри аккумулятора U_o, а затем резкое повышение напряжения за счёт потенциала поляризации, вызванное в основном быстрым увеличением плотности электролита в порах активной массы (участок *а*, рис. 2.46). Далее, на участке *б* происходит медленный рост напряжения, обусловленный главным образом ростом ЭДС аккумулятора вследствие увеличения плотности электролита.

После того, как основное количество сульфата свинца преобразуется в PbO_2 и Pb, затраты энергии все в большей мере вызывают разложение воды (электролиз). Избыточное количество ионов водорода и кислорода, появляющееся в электролите, ещё больше увеличивает разность потенциалов разноимённых электродов. Это приводит к быстрому росту зарядного напряжения (участок *в* на рис. 2.46), вызывающему ускорение процесса разложения воды. Образующиеся при этом ионы водорода и кислорода не вступают во взаимодействие с активными материалами. Они рекомбинируют в нейтральные молекулы и выделяются из электролита в виде пузырьков газа (на положительном электроде выделяется кислород, на отрицательном – водород), вызывая «кипение» электролита.

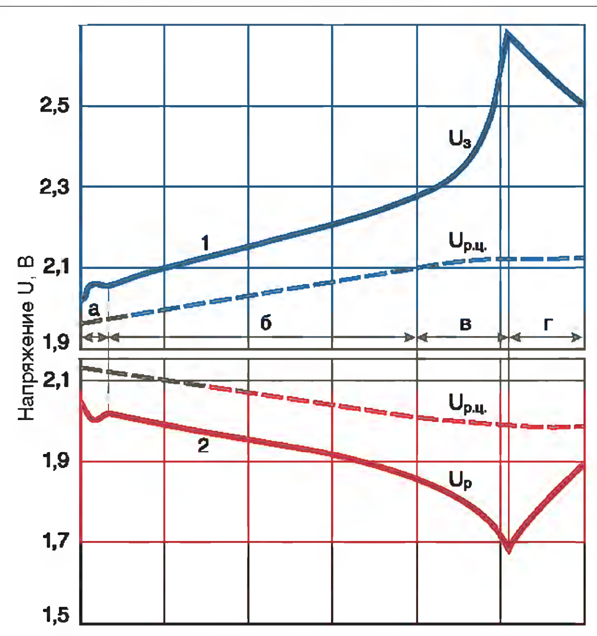


Рис. 2.46. Изменение напряжения и ЭДС аккумулятора напряжением 2 В во времени при заряде *1* и разряде *2*:
$U_з$ – напряжение при заряде; $U_р$ – напряжение при разряде;
$U_{р.ц.}$ – напряжение разомкнутой цепи

Если продолжить процесс заряда, можно увидеть, что рост плотности электролита и зарядного напряжения практически прекращается, так как почти весь сульфат свинца уже прореагировал, и вся подводимая к аккумулятору энергия теперь расходуется только на протекание побочного процесса – электролитическое разложение воды (участок *в*). Этим объясняется и постоянство зарядного напряжения, которое служит одним из признаков окончания зарядного процесса.

После прекращения заряда, то есть отключения внешнего источника, напряжение на выводах аккумулятора резко снижается до значения его неравновесной ЭДС или на величину омических внутренних потерь. Затем происходит постепенное снижение ЭДС (вследствие уменьшения плотности электролита в порах активной массы), которое продолжается до полного выравнивания концентрации электролита в объёме аккумулятора и порах активной массы, что соответствует установлению равновесной ЭДС (участок *г*).

При разряде аккумулятора напряжение $U_р$ на его выводах меньше ЭДС на величину внутреннего падения напряжения.

Как видно на рис. 2.46, в начале разряда напряжение аккумулятора резко падает на величину омических потерь и поляризации, обусловленной снижением концентрации электролита в порах активной массы, то есть концентрационной поляризации (участок *а*). Далее при установившемся (стационарном) процессе разряда происходит снижение плотности электролита в объёме аккумулятора, обусловливающее постепенное снижение разрядного напряжения (участок *б*). Одновременно происходит изменение соотношения содержания сульфата свинца в активной массе, что также вызывает повышение омических потерь. При этом частицы сульфата свинца (имеющего примерно втрое больший объем в сравнении с частицами свинца и его двуокиси, из которых образовался сульфат) закрывают поры активной массы, чем препятствуют прохождению электролита в глубину электродов.

Это вызывает усиление концентрационной поляризации, приводящее к более быстрому снижению разрядного напряжения (участок *в*).

При прекращении разряда напряжение на выводах аккумулятора быстро повышается на величину омических потерь, достигая значения неравновесной ЭДС. Дальнейшее изменение ЭДС вследствие выравнивания концентрации электролита в порах активных масс и в объёме аккумулятора приводит к постепенному установлению значения равновесной ЭДС (участок *г*).

§ 2.8. Заряд аккумуляторных батарей

Если генератор не может зарядить батарею в достаточной степени, она должна заряжаться с помощью зарядного устройства. Это касается также тех случаев, когда батарея долгое время не использовалась, или перед выводом её из эксплуатации и отправкой на хранение.

В эксплуатации используются следующие основные системы заряда: при постоянном токе и при постоянном напряжении.

Заряд при постоянном токе

При таком заряде сила тока в течение всего времени заряда должна оставаться неизменной. Для этого в ходе заряда необходимо менять напряжение зарядного устройства или сопротивление цепи.

Коэффициент использования тока зависит от силы зарядного тока, степени заряженности батареи и температуры электролита. Он будет тем меньше, чем больше зарядный ток, чем выше степень заряженности и чем ниже температура электролита. При заряде полностью разряженных батарей в нормальных условиях (при комнатной температуре) процесс заряда в первый момент идёт с максимальным коэффициентом использования тока. Повышение степени заряженности и возрастание поляризации приводят к увеличению суммарного внутреннего сопротивления батареи и увеличению потерь энергии на нагрев электролита, электродов и других элементов батареи.

Кроме того, на заключительной стадии заряда начинается вторичный процесс – электролиз воды, входящей в состав электролита.

Выделяющийся при электролизе воды газ создаёт видимость кипения электролита, что свидетельствует о завершении процесса заряда батареи. С целью снижения потерь энергии при заряде, уменьшения нагрева батареи и предохранения уровня электролита от чрезмерного снижения рекомендуется в конце процесса заряда снижать силу зарядного тока.

Для заряда при постоянном токе наиболее распространённым является режим, который состоит из двух ступеней. Первая ступень заряда производится при токе равном 0,1 C_{20} (номинальной ёмкости) до тех пор, пока напряжение на батарее 12 В не достигнет 14,4 В (2,4 В на каждом аккумуляторе). Далее сила зарядного тока снижается вдвое до величины 0,05 C_{20} (номинальной ёмкости).

Заряд при такой силе тока продолжается до постоянства напряжения и плотности электролита в аккумуляторах в течение 2 ч. При этом в конце заряда наблюдается бурное выделение газа, приводящее к кипению электролита.

При заряде батарей последнего поколения (без пробок для доливки воды) целесообразно при достижении напряжением заряда величины 15 В ещё раз уменьшить ток заряда вдвое, то есть до величины 0,025 C_{20}. Заряд таких батарей завершается при напряжении 16,2–16,4 В в зависимости от состава сплава решёток и чистоты электролита.

Пониженная сила тока в конце заряда позволяет уменьшить скорость газовыделения, снизить влияние перегрева на последующую работоспособность и срок службы батареи, а также обеспечить полноту заряда.

Уравнительный заряд

Такой заряд производится при постоянной силе тока менее 0,1 от номинальной ёмкости в течение несколько большего времени, чем обычно. Его цель – обеспечить полное восстановление активных масс во всех электродах всех аккумуляторов батареи.

Уравнительный заряд нейтрализует воздействие глубоких разрядов и рекомендуется как мера, устраняющая нарастающую сульфатацию электродов. Заряд продолжается до тех пор, пока во всех аккумуляторах батареи не будет наблюдаться постоянство плотности электролита и напряжения в течение трёх часов.

При необходимости в короткое время восстановить работоспособность глубоко разряженной аккумуляторной батареи применяют так называемый форсированный заряд.

Форсированный заряд

Такой заряд может производиться токами величиной до 70 % от номинальной ёмкости, но в течение более короткого времени. Время заряда тем меньше, чем больше величина зарядного тока. Практически при заряде током 0,7 C_{20} продолжительность заряда не должна быть более 30 мин, при 0,5 C_{20} – 45 мин, а при 0,3 C_{20} – 90 мин. В процессе форсированного заряда необходимо контролировать температуру электролита, и при достижении 45 °С прерывать заряд.

Следует отметить, что применение форсированного заряда должно быть исключением, так как его систематическое многократное повторение для одной и той же батареи заметно сокращает срок её службы.

Заряд при постоянном напряжении

При этом способе в течение всего времени заряда напряжение зарядного устройства поддерживается постоянным. Зарядный ток убывает в процессе заряда по причине увеличения внутреннего сопротивления батареи. В первый момент после включения сила зарядного тока определяется следующими факторами: выходным напряжением источника питания, степенью заряженности батареи и количеством последовательно включённых батарей, а также температурой электролита батарей. Сила зарядного тока в начальный момент заряда может достигать $(1{,}0–1{,}5) \cdot C_{20}$.

Для исправных, но разряженных батарей такие токи не несут вредных последствий. Несмотря на большие токи в начальный момент зарядного процесса общая продолжительность полного заряда батарей примерно соответствует режиму при постоянстве тока. Дело в том, что заключительный этап заряда при постоянстве напряжения происходит при достаточно малой силе тока. Тем не менее заряд по такой методике в ряде случаев предпочтителен, так как он обеспечивает более быстрое доведение батареи до состояния, позволяющего обеспечить пуск двигателя. Кроме того, сообщаемая на начальном этапе заряда энергия расходуется преимущественно на основной зарядный процесс, то есть на восстановление активной массы электродов. При этом процесс газообразования в аккумуляторе ещё не возможен.

Таким образом, заряд при постоянстве напряжения позволяет форсировать процесс заряда при подготовке батареи к эксплуатации.

Модифицированный заряд

Такой заряд представляет собой некоторое приближение к заряду при постоянном напряжении. Цель его – несколько уменьшить силу тока в начальный период заряда и снизить влияние колебания напряжения в сети на зарядный ток. Для этого последовательно с аккумуляторной батареей в электрическую цепь включают резистор небольшого сопротивления. Такой приём известен под названием «способа с полупостоянным напряжением». При применении данного метода напряжение на клеммах зарядного устройства поддерживается постоянным в пределах от 2,5 до 3,0 В на один аккумулятор. Считается, что для свинцовых аккумуляторов оптимальным является напряжение 2,6 В на аккумулятор, обеспечивающее заряд примерно за 8 ч.

Постоянный подзаряд

Цель данного вида заряда – компенсация саморазряда. Постоянный подзаряд производят при постоянном напряжении, величина которого незначительно превышает напряжение полностью заряженной батареи. При постоянном подзаряде нескольких батарей, включённых в электрическую цепь параллельно, в цепь

каждой батареи включают переменное или постоянное сопротивление для ограничения силы зарядного тока.

Главным недостатком режима постоянного подзаряда является параллельное протекание вторичного процесса, что ускоряет коррозию решёток положительных электродов.

Зарядные характеристики

Заряд можно выполнять с помощью различных способов, для которых типичными являются определённые зарядные характеристики:

- W – сопротивление постоянное (зарядный ток понижается, в то время как зарядное напряжение растёт);
- U – зарядное напряжение постоянное;
- I – зарядный ток постоянный;
- a – автоматическое отключение;
- e – автоматическое повторное подключение;
- o – автоматическое переключение на другие характеристики.

При этом возможны комбинации различных характеристик, например:

- WU – W-образная характеристика, тем не менее зарядное напряжение остаётся постоянным на определённом значении (например, сразу под напряжением газовыделения);
- IU – постоянный зарядный ток до определённого значения, после которого напряжение является постоянным, а зарядный ток падает;
- WoW – переключение с одной W-образной характеристики на другую.

При зарядной характеристике W (рис. 2.47) зарядный ток определяется сопротивлением цепи зарядки, а ведущая разность потенциалов – согласно закону Ома (I = ΔU/R). Так как зарядное напряжение при заряде увеличивается медленно, разность потенциалов становится меньше и, как следствие, уменьшается зарядный ток.

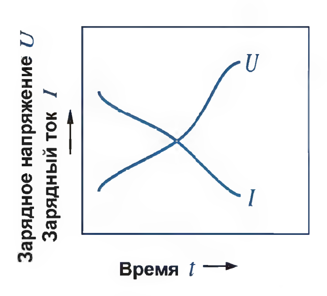


Рис. 2.47. Зарядная характеристика W

Зарядную характеристику W легче всего воплотить в жизнь, то есть для неё требуются недорогие зарядные устройства. К недостаткам относится неконтролируемое завершение заряда и длительное время полного заряда. Зарядный ток уменьшается задолго до достижения напряжения газовыделения.

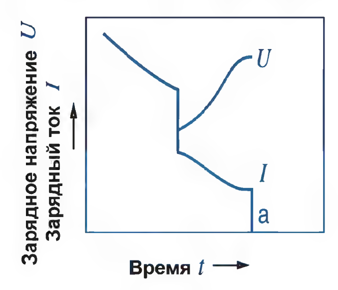


Рис. 2.48. Зарядная характеристика WoWa

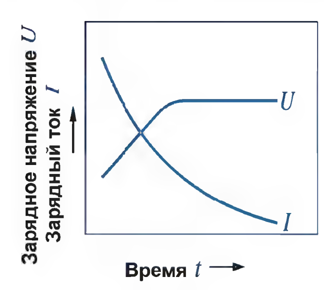


Рис. 2.49. Зарядная характеристика WU

Оба недостатка отсутствуют в зарядной характеристике IU (рис. 2.50). Постоянно высокий зарядный ток сохраняется, пока не будет достигнуто конечное напряжение U. С помощью данного метода за короткое время достигается высокий коэффициент наполнения и предотвращается чрезмерный заряд.

С помощью зарядной характеристики IU_oU (рис. 2.51) после достижения конечного напряжения разряда при заряде U (2,3–2,4 В на аккумулятор) происходит переключение на более низкое напряжение (2,23 В на аккумулятор) – подзаряд.

Слишком высокий заряд предотвращается также с помощью прибора, имеющего ограниченное зарядное напряжение (характеристика WU, рис. 2.49) или самостоятельно переключающегося при достижении предельного напряжения

на более слабую зарядную характеристику W (рис. 2.47) либо полностью завершающего зарядку (характеристика Wa).

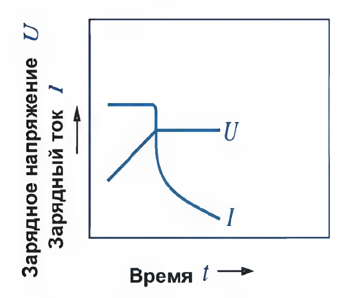


Рис. 2.50. Зарядная характеристика IU (форсированный заряд)

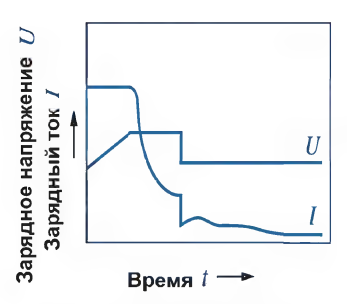


Рис. 2.51. Зарядная характеристика IUoU

Зарядная характеристика $I_1U_1I_2aI_3aI_3$... (рис. 2.52) начинается так же, как и заряд IU. Как только зарядный ток в U-фазе становится ниже предельного значения, происходит переключение на подзарядку с I_2. Она ограничена во времени и по напряжению. Батареи со связанным электролитом (технология с использованием холста или геля) действительно заряжаются полностью, а обычные стартерные батареи со свободным электролитом («мокрые» батареи) проходят через определённый этап газовыделения с перемешиванием кислоты. Завершающий подзаряд (I_3aI_3a...) обеспечивает заряд до достижения верхнего предельного напряжения, а затем выключается. Как только напряжение батареи вследствие саморазряда достигнет нижнего предельного значения, подзаряд I_3 начинается заново.

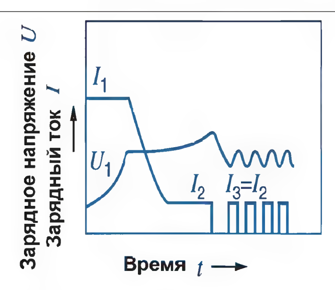


Рис. 2.52. Зарядная характеристика $I_1U_1I_2aI_3aI_3$...

§ 2.9. Эксплуатация аккумуляторных батарей

2.9.1. Саморазряд

Саморазрядом называют снижение ёмкости аккумуляторов при разомкнутой внешней цепи, то есть при бездействии. Это явление вызвано окислительно-восстановительными процессами, самопроизвольно протекающими как на отрицательных, так и на положительных электродах.

Саморазряду особенно подвержен отрицательный электрод вследствие самопроизвольного растворения свинца (отрицательной активной массы) в растворе серной кислоты.

Саморазряд отрицательного электрода сопровождается выделением газообразного водорода. Скорость самопроизвольного растворения свинца существенно возрастает с повышением концентрации электролита. Повышение плотности электролита с 1,27 до 1,32 г/см^3 приводит к росту скорости саморазряда отрицательного электрода на 40 %.

Наличие примесей различных металлов на поверхности отрицательного электрода оказывает весьма значительное влияние (каталитическое) на увеличение скорости саморастворения свинца (вследствие снижения перенапряжения выделения водорода). Практически все металлы, встречающиеся в виде примесей в аккумуляторном сырье, электролите и сепараторах или вводимые в виде специальных добавок, способствуют повышению саморазряда. Попадая на поверхность отрицательного электрода, они облегчают условия выделения водорода.

Часть примесей (соли металлов с переменной валентностью) действуют как переносчики зарядов с одного электрода на другой. В этом случае ионы металлов восстанавливаются на отрицательном электроде и окисляются на положительном (такой механизм саморазряда приписывают ионам железа).

Добавки, снижающие потенциал выделения кислорода (например, сурьма, кобальт, серебро), будут способствовать росту скорости реакции саморастворения двуокиси свинца. Скорость саморазряда положительного активного

материала в несколько раз ниже скорости саморазряда отрицательного активного материала.

Другой причиной саморазряда положительного электрода является разность потенциалов материала токоотвода и активной массы этого электрода. Возникающий вследствие этой разности потенциалов гальванический микроэлемент превращает при протекании тока свинец токоотвода и двуокись свинца положительной активной массы в сульфат свинца.

Саморазряд может возникать также, когда аккумулятор снаружи загрязнён или залит электролитом, водой или другими жидкостями, которые создают возможность разряда через электропроводную плёнку, находящуюся между полюсными выводами аккумулятора или его перемычками. Этот вид саморазряда отличается от обычного разряда очень малыми токами при замкнутой внешней цепи и легко устраним: необходимо содержать поверхность батарей в чистоте.

Саморазряд батарей в значительной мере зависит от температуры электролита. Эта зависимость показана на рис. 2.53, где видно, что с понижением температуры саморазряд уменьшается. При температуре ниже 0 °C у новых батарей он практически прекращается. Поэтому хранение батарей рекомендуется в заряженном состоянии при низких температурах (до минус 30 °C).

Из рис. 2.53 также видно, что в процессе эксплуатации саморазряд не остаётся постоянным и резко усиливается к концу срока службы.

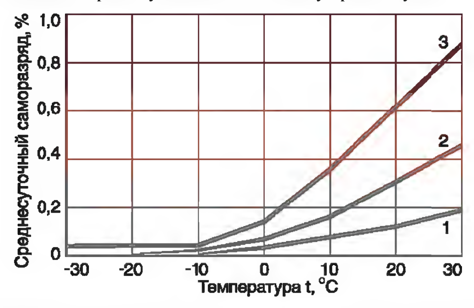


Рис. 2.53. Среднесуточный саморазряд необслуживаемой батареи при бездействии в течение 90 суток в зависимости от температуры и продолжительности предшествующей эксплуатации (малосурьмяный сплав 2,5 % Sb):
1 – новой батареи, 2 – в середине срока службы, 3 – в конце срока службы

Снижение саморазряда возможно за счёт повышения перенапряжения выделений кислорода и водорода на аккумуляторных электродах.

Для этого необходимо, во-первых, использовать возможно более чистые материалы для производства аккумуляторов, уменьшать количественное содержание легирующих элементов в аккумуляторных сплавах, использовать только чистую серную кислоту и дистиллированную (или близкую к ней по чистоте при других методах очистки) воду для приготовления всех электролитов как при

производстве, так и при эксплуатации. Например, благодаря снижению содержания сурьмы в сплаве токоотводов с 5 до 2 % и использованию дистиллированной воды для всех технологических электролитов среднесуточный саморазряд снижается в 4 раза.

Замена сурьмы на кальций позволяет ещё больше снизить скорость саморазряда (рис. 2.54). Снижению саморазряда могут также способствовать добавки органических веществ – ингибиторов саморазряда.

Обычно степень саморазряда выражают в процентах потери ёмкости за установленный период времени.

$$X = \left[(C - C_n) / n \cdot C \right] \cdot 100\ \%, \qquad (2.2)$$

где C и C_n – ёмкости батареи соответственно до и после бездействия, приведённые к 25 °C;

n – продолжительность бездействия, сутки.

Новые стандартные стартерные батареи в полном состоянии через шесть месяцев простоя при комнатной температуре будут иметь степень заряженности всего около 65 %. Это соответствует плотности кислоты 1,20 кг/л. Используемые батареи достигают такого значения через несколько недель простоя. Степень заряженности необслуживаемых батарей после шести месяцев составляет 90 %. Соответствующая плотность кислоты равна 1,26 кг/л. Только через 18 месяцев достигается степень заряженности 65 % (плотность кислоты ρ = 1,20 кг/л) (рис. 2.54).

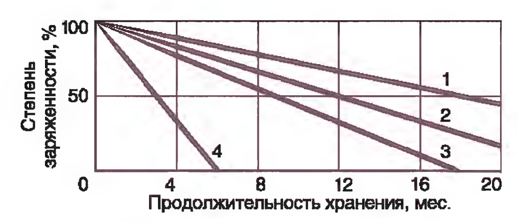


Рис. 2.54. Изменение степени заряженности свинцовых стартерных батарей различного исполнения в процессе хранения в залитом состоянии:
1 – батареи со свинцово-кальциевыми сплавами; 2 – батареи гибридного исполнения; 3 – батареи с малосурьмяными сплавами; 4 – батареи традиционного исполнения

2.9.2. Эксплуатация аккумуляторных батарей в различных условиях

Хранение батарей

При продаже новых батарей указываются следующие сроки хранения

- незаполненная: неограниченный срок хранения;
- заполненная, обычная: 3 месяца, максимум – 6 месяцев;
- заполненная, полностью необслуживаемая: 18 месяцев.

При длительном сроке хранения батареи должны заряжаться через регулярные интервалы времени в соответствии со стандартным зарядом. Батареи должны храниться в прохладном и сухом помещении и обладать хорошей степенью заряженности. Срок хранения использованных батарей сокращается в зависимости от возраста батареи. По возможности батарея должна постоянно заряжаться небольшим током. Если батарея остаётся в транспортном средстве, отрицательный полюс необходимо отсоединить.

Эксплуатация при низких температурах

Для обеспечения эксплуатации батарей в зимний период при степени заряженности не менее 75 % необходимо учитывать, что свойства батареи в значительной степени зависят от температуры электролита.

Влияние низкой температуры на работоспособность батареи происходит по следующим показателям:

- снижение разрядных характеристик при стартерном пуске двигателей вследствие увеличения внутренних потерь;
- снижение способности батареи принимать заряд от генератора при работающем двигателе.

Не вдаваясь в сущность электрохимических процессов, протекающих в батарее, можно сказать, что основной причиной снижения зарядных и разрядных характеристик является увеличение вязкости и сопротивления электролита. При снижении температуры от +20 до −25 °С пусковые характеристики батареи снижаются в два-три раза. При этом одновременно возрастает сопротивление прокручиванию вала двигателя, что приводит к увеличению тока стартера и, соответственно, к увеличению тока разряда батареи. Резко ухудшаются условия смесеобразования и воспламенения горючей смеси в цилиндрах, поэтому пуск двигателя осуществляется за три-четыре попытки и более. Приведённая температура (−25 °С) является пределом пуска, если не применяются средства облегчения пуска либо подогрев батареи.

Снижение способности батареи принимать заряд можно охарактеризовать тем, что принимаемый ток заряда при понижении температуры электролита в указанных выше пределах при прочих равных условиях уменьшается в 8–10 раз за счёт роста внутреннего сопротивления батареи. Это значит, что энергия, отданная батареей при пуске двигателя, возвращается ей при последующем движении автомобиля в зимнее время за более продолжительное время, что не всегда возможно.

При понижении температуры окружающего воздуха существенно увеличивается расход энергии батареи на пуск холодного двигателя, включаются дополнительные потребители (обогрев салона, стёкол и др.), из-за сокращения светового дня значительное время движение автомобиля происходит при работе ламп световой сигнализации и освещения дороги. Включение потребителей происходит при работе двигателя на различных частотах вращения коленчатого вала, то есть при изменяющейся от минимальной до максимальной отдаче энергии генератором. Потребители могут не выключаться и при остановке двигателя. Поэтому батарея может разряжаться на значительную глубину.

В случае, когда энергия, отдаваемая батареей, не возвращена ей генератором за время последующего движения автомобиля. пуск двигателя после ночной стоянки будет затруднительным. При систематическом невосполнении от генератора затраченной батареей энергии степень заряженности последней снижается и может достигнуть недопустимо низкого предела. В этом случае может произойти отказ батареи в работе, особенно при холодном пуске двигателя. Кроме того, систематическая работа батареи при низкой заряженности приводит к ускоренному оплыванию активной массы электродов и сокращению срока надёжной работы батареи.

В таблице 2.2 представлены некоторые числовые данные в отношении плотности электролита и температуры его замерзания (точки кристаллизации) при различной степени заряженности и рабочей температуре.

Таблица 2.2

Температура замерзания электролита

Напряжение, В	Степень заряженности, %	Плотность электролита, г/см^3	Температура замерзания, °C
12,7	100	1,28	<−50
12,5	80	1,24	−40
12,3	60	1,21	−30
12,1	40	1,18	−20
11,9	20	1,14	−14
11,7	0	1,10	−5

Чем сильнее разряженность, тем больше разбавляется кислота. При этом точка замерзания перемещается в сторону больших, неблагоприятных температур. Электролит в заряженной батарее с удельной плотностью 1,28 кг/л обладает точкой замерзания от −60 до −68 °С. Разряженная батарея с удельной плотностью 1,04 кг/л имеет точку замерзания от −3 до −11 °С и может замёрзнуть при низкой температуре окружающей среды (см. таблицу 2.2).

Батарея с замерзшим электролитом отдаёт незначительные токи и не может использоваться для пуска. Корпус батареи из полипропилена остаётся стабильным и при замерзшем электролите. Возможность того, что корпус треснет, незначительная, так как жидкость кристаллизуется не на 100 %. Замерзшая батарея не должна заряжаться, так как твёрдый электролит начнёт кипеть. Батарея должна оттаять, прежде чем её вновь можно будет заряжать.

Пуск двигателя можно осуществить от батареи другого автомобиля при условии, что генератор и его регулятор напряжения исправны. После пуска от посторонней батареи питание системы зажигания и других приборов, необходимых при поездке, будет осуществляться от работающего генератора. При этом

разряженная батарея может подзаряжаться и достигнет после поездки состояния заряженности, при котором сможет обеспечивать пуск двигателя. Но «прикуривание» следует осуществить правильно, чтобы не нанести вреда электрооборудованию обоих автомобилей. Для обеспечения эффективного облегчения пуска должны использоваться только стандартные провода для подключения стартера к вспомогательной батарее с сечением проводника не менее 16 мм^2 для бензиновых и 25 мм^2 для дизельных двигателей.

Прежде всего отсоединяют провод от отрицательного полюсного вывода неисправной (разряженной) батареи. Провода «прикуривания» присоединяют с одной стороны к полюсным выводам исправной батареи. С другой стороны концы проводов присоединяют, как показано на рис. 2.55: положительный – к положительной клемме разряженной батареи, отрицательный – к корпусу двигателя автомобиля с разряженной батареей. В этой ситуации наконечник, снятый с незаряженной батареи, не позволит ей заряжаться от исправной во время пуска. Для исправной батареи пуск двигателя не имеет негативных последствий. Если же у глубоко разряженной батареи в момент «прикуривания» не снять один наконечник, то она будет заряжаться во время пуска от исправной батареи очень большим током. В этом случае исправная батарея может подвергнуться глубокому разряду и потом не пустит собственный двигатель.

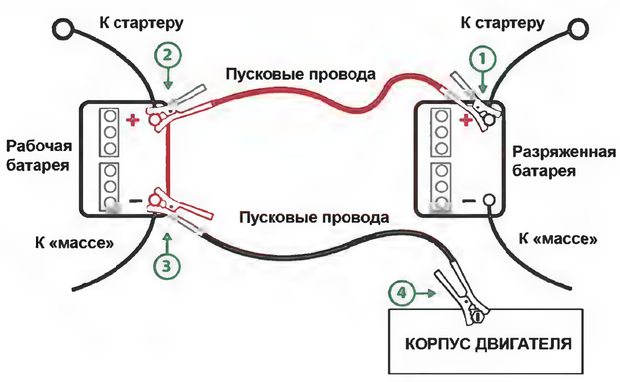


Рис. 2.55. Пуск двигателя от батареи другого транспортного средства

Некоторые автолюбители пытаются избежать такой ситуации, проводя «прикуривание» при работающем двигателе. Этого делать не следует. Исправная батарея при работе двигателя заряжается от генератора и имеет напряжение, близкое к настроечной величине регулятора напряжения. В момент её разряда на стартер «прикуриваемого» автомобиля напряжение на полюсах батареи значительно снизится. Это зависит от величины тока, потребляемого стартером, и от продолжительности прокручивания вала двигателя до момента его пуска.

Пониженное напряжение на исправной батарее вызовет увеличение зарядного тока, что может привести к перегрузке генератора, перегоранию предохранителя в цепи заряда. Чтобы этого не произошло, целесообразно перед «прикуриванием» от исправной батареи пустить с её помощью собственный двигатель и дать ему поработать на средних оборотах 5–10 мин. Это создаст условия для более лёгкого пуска уже прогретого собственного двигателя и определённого подзаряда (а зимой и прогрева) исправной батареи перед «прикуриванием». После этого нужно заглушить двигатель и провести «прикуривание» в режиме, описанном выше. После возвращения из поездки батарею, не обеспечившую пуск, необходимо полностью зарядить от стационарного зарядного устройства, найти и устранить причину глубокого разряда.

Эксплуатация при высоких температурах

Снижение уровня электролита над пластинами наиболее интенсивно происходит именно в летнее время. Доливка дистиллированной воды до установленного уровня позволяет избежать чрезмерного увеличения плотности электролита и негативных последствий от этого, но остановить электрохимическую коррозию решёток положительных пластин невозможно.

В летнее время условия пуска двигателя более лёгкие, и потому возможность пуска сохраняется даже при снижении степени заряженности до 50 %. Однако такое состояние даже в летнее время не должно сохраняться продолжительное время по причине ускорения разрушения активных материалов аккумуляторных электродов. Практика показывает, что наибольший календарный срок надёжной работы имеют батареи, которые эксплуатируются на автомобилях со среднегодовым пробегом 10–20 тыс. км при регулярном контроле за состоянием заряженности и выполнении их своевременного заряда и технического обслуживания.

§ 2.10. Техническое обслуживание аккумуляторных батарей

Батареи обычно поставляются уже в заполненном состоянии, то есть первичное заполнение кислотой не требуется. Только в некоторых типах батарей, например батареях мотоциклов или грузовых автомобилей, возможно, потребуется необходимо первичное заполнение. Для этого необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации.

Конечно, техническое обслуживание во многих случаях, например при использовании полностью необслуживаемых батарей, не требуется и невозможно в принципе. Данные батареи имеют настолько незначительную потерю воды, что добавление дистиллированной воды не планируется.

Батареи, которые не требуют обслуживания, можно определить следующим образом: заглушки батареи закрыты.

Визуально определяют состояние моноблока, крышек, пробок, выводов батарей, обращают внимание на наличие электролита и состояние его поверхности.

Моноблок и крышки должны быть очищены от грязи и следов электролита и не иметь трещин.

Загрязнённые крышки протирают тканью, смоченной 10%-м раствором питьевой соды или нашатырного спирта. Если моноблок и крышки имеют трещины, то батарея подлежит ремонту. Проверяют и при необходимости прочищают вентиляционные отверстия в пробках.



Рис. 2.56. Внешний осмотр аккумуляторной батареи



Рис. 2.57. Щётка для очистки терминалов

Покачиванием выводов определяют плотность их крепления в крышках. Окисленные выводы зачищают шкуркой или специальной щёткой и смазывают техническим вазелином.

Наблюдая за поверхностью электролита, обращают внимание на выделение пузырьков газа. Наличие пузырьков свидетельствует об ускоренном саморазряде из-за загрязнения электролита посторонними веществами. Но при этом необходимо учитывать, что выделение газа происходит и при заряде батареи, поэтому вывод об ускоренном саморазряде можно сделать только тогда, когда прошло продолжительное время после заряда батареи или после снятия её с автомобиля.

Прижимная планка должна плотно прилегать к крепёжному выступу моноблока и заходить в фиксирующие выемки на нем.

При необходимости между ней и выступом следует установить переходную планку. Крепёжные болты следует затягивать моментом предписанной величины.

2.10.1. Измерение уровня электролита

В батареях с прозрачным корпусом имеются отметки min и max, позволяющие оценить уровень электролита. Уровень электролита в аккумуляторах должен быть на 15–20 мм выше предохранительного щитка.

Уровень электролита измеряют стеклянной трубкой Ø3–5 мм (рис. 2.58), которая опускается в аккумулятор до упора в предохранительный щиток, затем закрывается сверху пальцем и приподнимается.

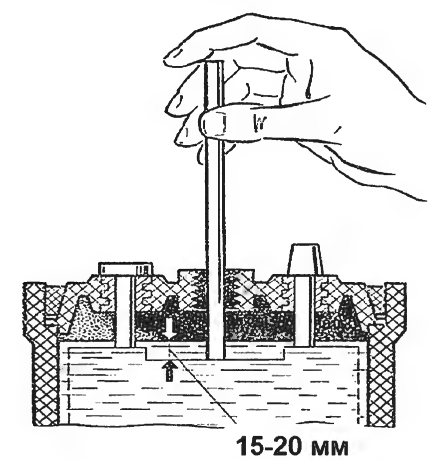


Рис. 2.58. Проверка уровня электролита

Если уровень электролита ниже нормального, то в аккумуляторы заливают дистиллированную воду, если выше, то электролит отбирают резиновой грушей во избежание его расплёскивания при эксплуатации батареи.

Доливку воды в аккумуляторы производят непосредственно перед зарядом батареи, а на автомобиле – при работающем двигателе. Несоблюдение этого требования может вызвать замерзание воды в аккумуляторах и ускоренный саморазряд из-за разной плотности электролита в верхней и нижней частях аккумулятора.

Необходимо помнить, что после доливки воды без заряда плотность электролита замерить невозможно.

Нельзя повышать уровень доливкой в аккумуляторы электролита, так как это приведёт к повышению его плотности. Электролит доливают только в случае вытекания (например, при опрокидывании батареи). По цвету электролита в измерительной трубке можно судить о его загрязнённости. Электролит бурого цвета свидетельствует об осыпании активного вещества «плюсовых» электродов аккумулятора.

2.10.2. Измерение плотности электролита

Плотность электролита позволяет оценить степень заряженности батареи. Уменьшение плотности на 0,01 г/см^3 соответствует уменьшению заряженности на 6 %.

Если степень заряженности батареи составляет менее 75 %, то батарею можно эксплуатировать только в *летнее* время года, менее 50 % – эксплуатация *запрещена.*

Аккумуляторный денсиметр с пипеткой (рис. 2.59) предназначен для измерения плотности электролита аккумуляторных батарей. Денсиметр помещён в стеклянной пипетке, на которую надета резиновая груша. Денсиметр имеет шкалу от 1100 до 1300 кг/м^3.

Денсиметр со шкалой от 1100 до 1300 кг/м^3 проградуирован при температуре 298 К (25 °С), поэтому показания денсиметра будут соответствовать действительным значениям плотности только при этой температуре.

При измерении плотности электролита, имеющего другую температуру, показания денсиметра будут иметь погрешность 0,7 кг/м^3 на каждый градус изменения температуры.

Результат измерения плотности электролита приводят к температуре +25 °С. Для этого к показаниям денсиметра применяют поправку с помощью специального графика (рис. 2.60), позволяющего достаточно точно учитывать изменение плотности в зависимости от температуры.

Для измерения плотности электролита необходимо с помощью резиновой груши несколько раз (для удаления пузырьков воздуха со стенок пипетки) набрать электролит в пипетку до всплытия денсиметра. Не вынимая пипетку из аккумулятора и не допуская касания денсиметром стенок пипетки, по нижней части мениска электролита в пипетке по шкале денсиметра определяют плотность электролита. Допускается отклонение плотности электролита в аккумуляторах

одной батареи не более чем на 10 кг/м^3 (0,01 г/см^3). При большем отклонении необходима корректировка плотности электролита.

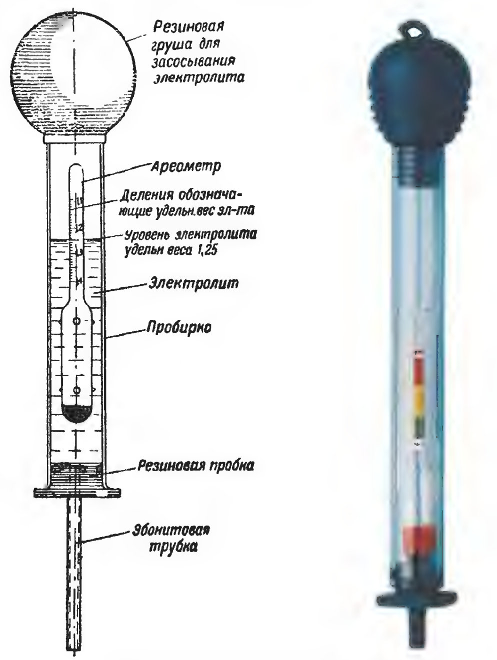


Рис. 2.59. Ареометр аккумуляторный

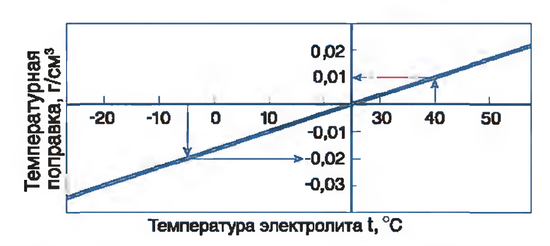


Рис. 2.60. Определение температурной поправки к показаниям денсиметра для приведения плотности электролита к температуре +25 °C

Корректировка плотности производится в следующей последовательности:

– производится измерение плотности всех аккумуляторов в батарее и определяется наименьшая плотность электролита;
– из аккумуляторов с большей по величине плотностью при помощи груши отбирается часть электролита и добавляется дистиллированная вода; во всех аккумуляторах устанавливается одинаковая плотность электролита, и батарея ставится на заряд.

Плотномер (рис. 2.61) состоит из резиновой груши *2*, крышки, пластмассового прозрачного корпуса *3* с трубкой *4* и семи пластмассовых поплавков *4* с различными массами и коэффициентами расширения.

Применение таких поплавков позволяет исключить погрешность измерения плотности при изменении температуры электролитов. Поплавок, регистрирующий плотность 1,27 г/см^3, окрашен. На корпусе против каждого поплавка выполнена надпись наименьшей плотности, при которой всплывает поплавок. Величину плотности определяют по тому всплывшему поплавку, против которого выполнена надпись с большей цифрой.



Рис. 2.61. Плотномер

Определение плотности производят по положению поплавков через некоторое время после заполнения корпуса электролитом, что необходимо для выравнивания температуры электролита и поплавков.

Рефрактометр (рис. 2.62) представляет собой прибор, измеряющий показатель преломления света в среде (антифриз, незамерзающая жидкость, электролит).

Найдите освещённое место и настройте окуляр так, чтобы шкала была хорошо видна. Чтобы установить нулевую точку, необходимо открыть защитную крышку, капнуть дистиллированной воды на призму и опустить крышку

так, чтобы она прижалась к стеклу. Далее установить уровень между голубым и белым фоном на линии Waterline, используя отвёртку в месте установки нуля.



Рис. 2.62. Рефрактометр

После этого следует открыть крышку, удалить воду и протереть призму и крышку мягкой тряпочкой (входит в комплект), капнуть измеряемой жидкости на призму и закрыть и прижать защитную крышку. Определяемое значение находится на границе голубого и белого фона (рис. 2.63). Далее нужно очистить и упаковать инструмент. Для проверки достаточно двух-трёх капель тестируемой жидкости.

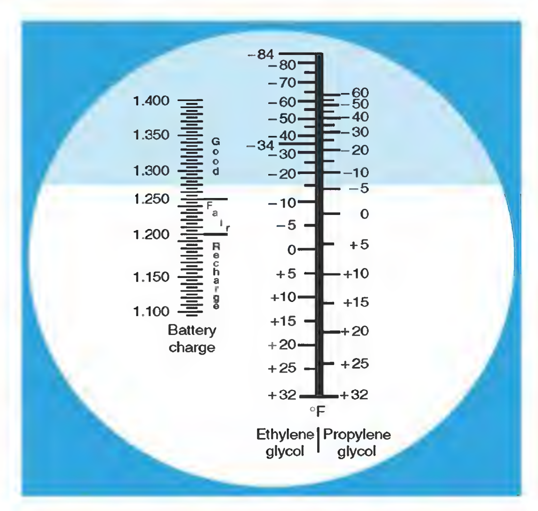


Рис. 2.63. Шкала рефрактометра

2.10.3. Измерение напряжения батареи

Для измерения напряжения батареи под нагрузкой используют нагрузочные вилки (рис. 2.64).



Рис. 2.64. Нагрузочная вилка

Для проверки автомобильного аккумулятора нагрузочной вилкой надо выполнить следующие действия. Сначала проводят замеры напряжения на клеммах аккумулятора без использования нагрузочных сопротивлений. Для этого после того, как автомобиль заглушили или на аккумулятор перестал подаваться ток от зарядки, выжидают 6–7 часов. Берут прибор и соединяют его зажим с «плюсом» с аналогичной клеммой батареи (без подключения спирали). Минусовым штырём на корпусе нагрузочной вилки прикасаются к минусовой клемме аккумулятора и смотрят, что показывает вольтметр. Таким образом выполняется проверка напряжения разомкнутой цепи аккумулятора. Далее проводится сравнение полученных данных со значением в таблице и делается вывод о степени заряженности АКБ. Если все в порядке и аккумулятор заряжен на сто процентов, то можно переходить к измерению под нагрузкой.

К прибору подключают нужную нагрузку и проводят те же операции, что и описаны выше. Подключённой нагрузочную вилку оставляют на 5 секунд и именно на пятой секунде снимают показания. Как правило, в момент соприкосновения минусового штыря с минусовой клеммой аккумулятора батарея может немного искрить, поскольку приложенная к ней нагрузка сопоставима с пусковым

током двигателя. Во время перечисленных действий пробки аккумулятора должны быть завёрнуты. Поскольку измерительный штырь нагрузочной вилки нагревается, его не следует брать руками, а между замерами лучше делать паузу минут в пять.

Если напряжение в конце 5-й секунды разряда превышает U = 8,9 В, то батарея исправна (не имеет внутренних дефектов).

§ 2.11. Неисправности аккумуляторных батарей

Возможные отклонения от норм изготовления обнаруживаются на начальном этапе эксплуатации. Снижение работоспособности при пуске двигателя, иногда полный отказ в работе при достаточной плотности электролита или напряжении разомкнутой цепи в АКБ, как правило, связаны с проявлением производственных дефектов. Такие дефекты возникают обычно вследствие сбоев в работе оборудования при сборке батарей. Дефекты, связанные с качеством электродов, встречаются реже, так как при их производстве ведётся контроль качества на всех этапах, от отливки токоотводов до сушки после формирования.

К наиболее типичным производственным дефектам относятся разрыв электрической цепи внутри батареи, в том числе разрушение мостиков и обрыв отдельных электродов, а также короткие замыкания между разноимёнными электродами внутри аккумулятора.

Полный отказ батареи связан с нарушением целостности разрядной цепи внутри неё. Разрыв внутренней цепи происходит в деталях, скрепляемых сваркой при изготовлении, вследствие отклонения от расчётного режима сварки или при наличии раковин и пустот, возникающих в свариваемых деталях при нарушении режимов их отливки. В некоторых случаях обрыв цепи может быть спровоцирован у качественных батарей при продолжительном (затруднительном) пуске двигателя либо при тряске во время движения. Окончательное заключение о причине обрыва цепи производится на основании вскрытия дефектной батареи и обследования разрушенного соединения.

Вторым по степени влияния на режим пуска двигателя дефектом является короткое замыкание между разноимёнными электродами (пластинами) внутри аккумулятора. Этот дефект чаще всего связан с повреждениями сепараторов в процессе сборки, неправильным размещением сепаратора в блоке пластин, отклонением от заданных чертежами размеров сепаратора, низким качеством материала сепараторов, перекосом отдельных пластин в блоке. При наличии такого дефекта батарея в определённых условиях, например при постоянной эксплуатации в летнее время, может сохранять работоспособность. Однако её пусковая мощность значительно снижается, так как за время бездействия (ночной стоянки) значительная часть энергии в одном из аккумуляторов расходуется на работу в короткозамкнутой паре. При бездействии такой батареи в течение одной-двух недель короткое замыкание в каком-либо аккумуляторе может быть легко установлено путём измерения плотности электролита. В дефектном аккумуляторе плотность электролита снижается более интенсивно, чем в остальных аккумуляторах.

При стационарном заряде дефектный аккумулятор с коротким замыканием не выделяет газ и не «кипит». Плотность электролита при заряде поднимается в нем медленнее, чем в остальных аккумуляторах, либо совсем не поднимается, сколько бы батарея не стояла на заряде. При стартерном разряде (на стенде, на нагрузочную вилку и т. п.) аккумулятор с коротким замыканием интенсивно «кипит», выделяя газ с характерным запахом.

К разряду производственных дефектов могут быть отнесены отрывы отдельных пластин из-за низкого качества их сварки с полюсным мостиком. На практике отмечены случаи, когда ушки всех или нескольких положительных пластин в блоке электродов не имеют надёжного соединения с мостиком. В процессе эксплуатации между ушком и мостиком образуется зона окисления сопряжённых поверхностей, которая под действием электрохимической коррозии непрерывно увеличивается. При этом уменьшается механическая прочность соединения и растёт переходное сопротивление между ушками электродов и мостиком. Вследствие увеличения сопротивления усиливается нагрев ушек, что приводит в конечном счёте к их оплавлению и потере надёжного электрического контакта пластин с мостиком и даже к механическому разрушению мостика. При стартерном разряде электролит «кипит» в таком аккумуляторе, хотя при бездействии батареи плотность электролита в нем не снижается, так как короткого замыкания между разнополюсными пластинами нет.

Наряду с возможными производственными дефектами в процессе работы в батарее появляются дефекты вследствие негативных условий эксплуатации. Например, длительная работа батареи с низкой степенью заряженности (40–60 %) обязательно приведёт к ускоренному оплыванию активного вещества электродов в шлам. При этом снижается запас энергии в батарее, сокращается её ресурс, электролит приобретает тёмный цвет.

Отсутствие контроля уровня электролита в условиях интенсивной эксплуатации автомобиля создаёт опасность значительного увеличения плотности электролита, его перегрева при работе в условиях перезаряда.

В этих условиях может интенсивно оплывать активное вещество с отрицательных электродов, нарушается структура материала сепаратора. Решётки положительных электродов подвергаются интенсивному разрушению вследствие эксплуатации в условиях перезаряда.

При значительном снижении уровня электролита (оголение верхних кромок электродов) под крышками аккумуляторов накапливается взрывоопасная смесь газов (кислород и водород), которая выходит через вентиляционные отверстия. Появление искры или открытого пламени может привести к взрыву этой гремучей смеси и разрушению корпуса батареи. Корпус может быть также разрушен в зимнее время, если батарея, разряженная более чем на 50 %, оставлена на холоде. Такие разрушения, как правило, приводят к полному выходу батареи из строя. При замораживании батареи активное вещество электродов выдавливается кристаллами льда из ячеек решёток, осыпаясь в шлам.

В таблице 2.3 приведены наиболее характерные причины выхода батарей из строя и их происхождение.

Таблица 2.3

Причины выхода АКБ из строя

Причина потери работоспособности	Способ проявления	Причина возникновения неисправности
1. Короткое замыкание пластин в аккумуляторе (банке)	Снижение плотности электролита в одном аккумуляторе в сравнении с другими банками батареи	Производственная, при сборке батареи (перекос электрода, разрушение, смещение или пропуск сепаратора). Ускоренный износ вследствие интенсивного перезаряда
2. Обрыв цепи разряда внутри батареи	Потенциал между полюсами батареи есть, а разряд на стартер не происходит	Производственная: некачественная сварка деталей полюсных выводов или межэлементных соединений
3. Оплывание активного вещества с пластин (отслоение от решёток)	При нормальной плотности электролита батарея при разряде на стартер быстро снижает напряжение (садится)	Нарушение условий эксплуатации: – длительное использование батареи с низкой степенью заряженности (40–60 %); – длительная эксплуатация при перезаряде с низким уровнем и высокой плотностью электролита; – после замораживания разряженной батареи в зимнее время
4. Полная коррозия решёток положительных электродов	Заряжается плохо, при нормальной плотности электролита в начале разряда напряжение быстро снижается	Нарушение условий эксплуатации: перезаряд вследствие высокого напряжения заряда от генератора. Интенсивная эксплуатация автомобиля (такси)

Сюда не следует причислять состояние полного разряда, при котором батарея становится также неработоспособной. Полностью разряженная (потенциал составляет 12,0 В и ниже) батарея после полного заряда восстанавливает работоспособность, если её пребывание в разряженном состоянии не было продолжительным.

Глубокому разряду батарея подвергается при эксплуатации автомобиля с неисправными изделиями электрооборудования (генератор, регулятор напряжения, стартер), при бесконтрольном хранении, при длительной стоянке автомобиля с включёнными потребителями (в том числе с охранной сигнализацией, часами, компьютером, активной антенной), при наличии тока разряда (утечки) на неисправные потребители.

В реальной эксплуатации могут быть случаи состояния батарей, схожие с перечисленными причинами потери работоспособности. Однако такая схожесть может быть только внешней – происхождение их различно. Например, плотность снизилась в одном из аккумуляторов по причине выплёскивания электролита и доливки дистиллированной воды в большем количестве, чем в остальные аккумуляторы. Разряд на стартер может не происходить, если сильно окислены полюсные выводы, внутренняя поверхность наконечников проводов, неисправен стартер. Батарея при пуске двигателя может быстро «садиться» при неисправном стартере, слабом закреплении «массового» провода с кузова на двигатель.

Если батарея долгое время оставалась в разряженном состоянии, в неблагоприятных условиях мелкие кристаллы сульфата свинца, возникающие во время разряда, могут преобразоваться в крупные кристаллы (см. рис. 2.62). Обратное преобразование выполняется очень тяжело или вообще невозможно. В этом случае батарея обозначается как «сульфатированная».

Сульфатация является последствием небрежного ухода. Она способствует увеличению сопротивления и затрудняет химическое преобразование. Причины сульфатации:

- применение загрязнённого электролита;
- длительное нахождение батарей в разряженном состоянии;
- систематический недозаряд батарей;
- снижение уровня электролита ниже допустимого;
- эксплуатация батарей при недопустимо высокой температуре и плотности электролита.

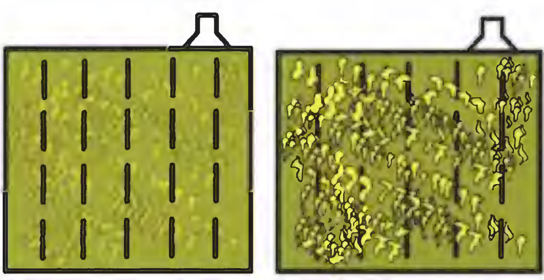


Рис. 2.65. Нормальная (слева) и необратимая (справа) сульфатация аккумуляторной батареи

Во время зарядки сульфатированной батареи с помощью зарядного устройства с характеристикой W она очень сильно подогревается. Зарядное напряжение повышается после начала заряда постепенно. Если степень сульфатации незначительная, сульфат свинца преобразовывается очень медленно, причём зарядное напряжение постоянно падает. Как только сульфат свинца регенерируется, напряжение вновь повышается как во время зарядки несульфатированной батареи (рис. 2.66).

Дефект батареи может быть установлен (или подтверждён) специалистом при проверке самой батареи, снятой с автомобиля. Перед проверкой она должна быть полностью заряжена (если это возможно по её состоянию), также должны быть откорректированы плотность и уровень электролита. При заряде аккумулятор с коротким замыканием может быть обнаружен по отсутствию «кипения» электролита в конце заряда. Разряд на стенде током, указанным на батарее, позволит установить наличие дефекта либо подтвердить её работоспособность. Короткое замыкание между электродами, обрыв электродов от мостика, отслоение активного вещества от решёток проявляется при разряде «кипением» электролита и выделением газа с запахом.

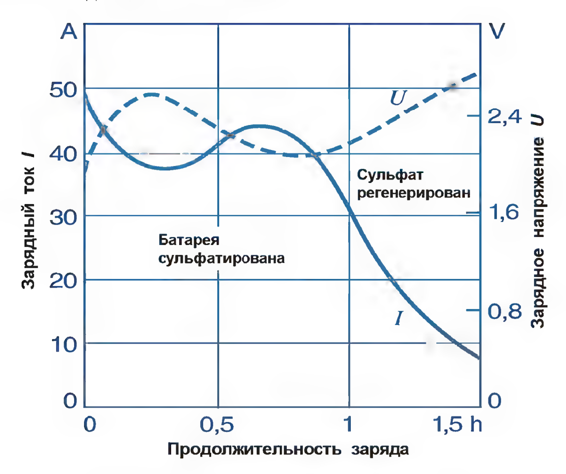


Рис. 2.66. Процесс заряда сульфатированной батареи

Мелкие повреждения сепараторов, низкое качество материала сепараторов, наличие посторонних примесей в электролите могут быть выявлены после бездействия батареи в течение 5–10 суток при комнатной температуре. Исходное значение показателей батареи должно быть зафиксировано (ЭДС, плотность и температура электролита). Повторное измерение этих показателей

после бездействия и сравнение их с результатами первичного разряда позволят сделать заключение о пригодности батареи для дальнейшего использования.

Не следует принимать за саморазряд снижение степени заряженности при эксплуатации, когда полностью заряженную батарею (плотность электролита 1,27–1,28 г/см^3) устанавливают на автомобиль, а при очередной проверке (через одну-две недели или более) плотность в этой батарее оказывается более низкой (например, 1,20–1,21 г/см^3). Понижение заряженности происходит по причине отрицательного энергобаланса системы электрооборудования при эксплуатации автомобиля. Это значит, что при разряде на потребители батарея отдаёт электричества больше, чем получает за это же время от генератора. В итоге происходит недозаряд батареи, и это изменение состояния заряженности отражается в изменении плотности электролита: она понижается. Своевременный контроль плотности электролита позволит предотвратить глубокий разряд и возможный отказ, а также принять меры к обеспечению необходимой заряженности батареи на автомобиле.

Окончательное заключение о причинах снижения мощности (работоспособности) или полного отказа в работе батареи может быть сделано после тестирования, последующего вскрытия батареи и осмотра её деталей с учётом срока работы, режима эксплуатации и обслуживания.

Признаки наличия либо отсутствия того или иного вида неисправности в батарее можно получить, проведя её тестирование в режимах, которые приведены в таблице 2.4.

Перед тестированием батарея должна быть полностью заряжена, пробки должны быть вывернуты для наблюдения за электролитом. Разряд проводится с поддержанием тока в течение 30 с без изменения. С учётом конструктивных особенностей и степени износа электродов (срока эксплуатации) величина напряжения на полюсных выводах технически исправных батарей с общей крышкой составляет не менее 10,0 В.

Тестирование при меньших значениях разрядных токов, например на нагрузочную вилку, не всегда позволяет установить дефект в аккумуляторах. Это в первую очередь можно отнести к слабой форме короткого замыкания пластин в одном из аккумуляторов, при которой небольшие токи разряда ослабленный аккумулятор обеспечивает без видимых признаков (нет «кипения» электролита) и резкого снижения общего напряжения батареи.

Таблица 2.4

Определение состояния батареи тестированием

Состояние батареи	**Ток разряда, А**	**Напряжение на выводах батареи при разряде, В**	**Характерные проявления при разряде**
1. Исправная	0,5 I EN	10,00–10,70 на 30-й секунде разряда	Нет

Окончание таблицы 2.4

Состояние батареи	Ток разряда, А	Напряжение на выводах батареи при разряде, В	Характерные проявления при разряде
2. Обрыв цепи внутри батареи	То же	Резко падает до нуля	Слышен треск внутри батареи, «шипение» электролита
3. Короткое замыкание	–	Около 10 В на третьей – пятой секунде разряда, затем резкое снижение до 6–8 В	«Кипение» электролита при разряде батареи в дефектном аккумуляторе, выделяется газ с запахом
4. Оплывание активного вещества, отслоение его от решёток пластин	–	После некоторой стабильности резко падает до 5–6 В	«Кипение» электролита в нескольких в аккумуляторах батареи, электролит тёмного цвета
5. Полная коррозия решёток положительных пластин	–	Без стабилизации резко падает до 3–6 В	Может иметь место «кипение» электролита в аккумуляторах, запах, электролит тёмного цвета

Контрольные вопросы к главе 2

1. Перечислите функции АКБ на автомобиле.
2. Сформулируйте пять наиболее важных требований, предъявляемых к АКБ.
3. Какие требования к АКБ являются взаимоисключающими и почему?
4. Какие процессы в АКБ протекают при её заряде (разряде)?
5. Какие части аккумулятора принимают участие в токообразующих процессах?
6. Напишите уравнение химической реакций, протекающей в АКБ.
7. Что такое электролит? Опишите последовательность действий по приготовлению электролита.
8. Из каких материалов изготовлены пластины автомобильной АКБ?
9. Из каких элементов состоит свинцово-кислотный аккумулятор?
10. Сколько пластин может содержать один свинцово-кислотный аккумулятор?

11. Каких пластин в аккумуляторе больше: положительных или отрицательных? Почему?
12. Из каких материалов выполнены решётки пластин?
13. Для чего предназначен сепаратор? Какие требования предъявляют к материалу сепаратора?
14. Каковы преимущества сепараторов типа конвертор?
15. Что такое борн? Каково его назначение?
16. Что такое баретка? Каково её назначение?
17. Из каких элементов состоит АКБ?
18. Из каких материалов выполнен корпус АКБ?
19. Каким образом соединяют аккумуляторы между собой?
20. Для чего положительный полюсный вывод больше отрицательного?
21. В чем преимущество АКБ с общей крышкой?
22. Почему в необслуживаемых АКБ отсутствуют заливные отверстия?
23. Как работает индикатор заряженности АКБ?
24. Перечислите достоинства и недостатки малообслуживаемых АКБ.
25. Перечислите достоинства и недостатки необслуживаемых АКБ.
26. Каковы особенности вентиляции необслуживаемых АКБ?
27. Каковы особенности батарей с гелеобразным элементом?
28. Каковы особенности батарей типа AGM?
29. Каковы особенности батарей типа OPTIMA?
30. Какие параметры АКБ указывают на корпусе?
31. Как классифицируют АКБ по функциональному признаку?
32. Расшифруйте маркировку батарей 6СТ55L.
33. Как классифицируют АКБ по конструкторско-технологическому исполнению?
34. Что означает цифры в маркировке АКБ?
35. Какие символы безопасности наносят на корпус АКБ?
36. Дайте определение ЭДС аккумулятора. Как её измеряют?
37. По какой формуле вычисляется ЭДС АКБ?
38. Дайте определение напряжения аккумулятора.
39. Как изменяется напряжение АКБ при заряде и разряде? Ответ обоснуйте.
40. Чему равна плотность и ЭДС полностью заряженной АКБ?
41. От чего зависит величина внутреннего сопротивления АКБ?
42. Перечислите основные характеристики АКБ.
43. Дайте определение ёмкости АКБ.
44. Что называют номинальной ёмкостью АКБ?
45. Как в практических условиях определить ёмкость АКБ?
46. Какие факторы влияют на величину разрядной ёмкости АКБ?
47. Что характеризует «резервная ёмкость» АКБ?
48. Из чего складывается минимум электрической нагрузки для определения «резервная ёмкость»?
49. В каких единицах измеряется «резервная ёмкость»? Назовите типичные значения.

50. Дайте определение «тока холодной прокрутки».
51. Каково соотношение между номинальной. резервной и пусковой ёмкостью АКБ?
52. Чему равна сила зарядного тока для малообслуживаемых и необслуживаемых АКБ?
53. Назовите достоинства и недостатки заряда постоянной силой тока.
54. В чем заключается отрицательное влияние перезаряда АКБ?
55. Назовите достоинства и недостатки заряда постоянным напряжением.
56. В каком случае используют заряд АКБ малыми токами?
57. Назовите параметры форсированного заряда.
58. Каковы достоинства и недостатки форсированного заряда АКБ?
59. Назовите параметры КТЦ. Для чего используется КТЦ?
60. Почему происходит замерзание электролита в зимнее время? Каковы причины?
61. При какой температуре замерзает электролит различной плотности?
62. Почему при низких температурах ухудшается процесс заряда АКБ?
63. Почему при низких температурах ухудшается запуск ДВС?
64. В чем заключается негативное влияние высокой температуры на АКБ?
65. Каким образом необходимо хранить АКБ?
66. Что такое саморазряд АКБ? Какие факторы влияют на скорость саморазряда АКБ?
67. Что входит в процедуру внешнего осмотра АКБ?
68. Как определить уровень электролита в АКБ?
69. Чему должен быть равен уровень электролита в АКБ?
70. Чем измеряется уровень электролита в АКБ?
71. Что необходимо сделать, если уровень электролита ниже (выше) нормы?
72. Назовите приборы для измерения плотности электролита.
73. Опишите процедуру замера плотности электролита.
74. Как устроен ареометр? Как устроен плотномер?
75. Какие приборы используются при проведении ТО АКБ?
76. Что необходимо сделать, если плотность электролита ниже нормы?
77. Что необходимо сделать, если плотность электролита выше нормы?
78. При каких условиях производят корректировку плотности электролита?
79. Опишите процедуру корректировки плотности электролита.
80. Как по величине ЭДС определить, сульфатирована ли АКБ?
81. Какой прибор позволяет определить напряжение АКБ под нагрузкой?
82. Чему равно напряжение АКБ под нагрузкой при отсутствии внутренних дефектов?
83. Какова роль ТО в обеспечении полного срока службы АКБ?
84. Как сделать вывод о пригодности АКБ к дальнейшей эксплуатации?
85. При какой заряженности АКБ разрешена её эксплуатация?
86. Опишите последовательность действий по восстановлению АКБ с замерзшим электролитом.

87. Опишите последовательность действий по восстановлению сульфатированной АКБ.
88. Как определить, сульфатирована или нет АКБ?
89. Полностью заряженной батареи хватает всего на несколько запусков стартера. В чем причина?
90. Чем опасен загрязнённый электролит?
91. Назовите устранимые неисправности АКБ.
92. Назовите неустранимые неисправности АКБ.
93. К чему может привести разность плотности соседних аккумуляторов?
94. Какие неисправности возникают при интенсивной эксплуатации АКБ (в режиме такси)?
95. Почему снижается ёмкость сульфатированной АКБ?

ГЛАВА 3. ГЕНЕРАТОРЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

§ 3.1. Общие сведения

Транспортные средства оснащены генератором для выработки тока и энергообеспечения электрических потребителей, как ЭБУ, система зажигания и впрыска и т. д. Если генератор производит больше тока, чем требуется для потребителей, он заряжает батарею. Мощность генератора, ёмкость батареи и потребляемая мощность электрических потребителей должны согласовываться между собой для обеспечения того, чтобы во всех рабочих условиях поставлялось достаточное количество тока в бортовую сеть и батарея была заряжена в достаточной мере.

Долгое время основным источником электрической энергии на автомобилях являлись генераторы постоянного тока, которые обеспечивали требования эксплуатации автомобилей выпуска до 60-х годов по максимальной мощности, характеристикам и сроку службы. Начало 60-х годов в автомобилестроении характеризовалось значительным увеличением срока службы автомобилей, снижением эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт, повышением требований к безопасности дорожного движения и комфорту пассажиров. В связи с этим выявилась необходимость значительного увеличения мощности генератора, срока его службы, улучшения характеристик и снижения эксплуатационных затрат. Одновременно существенно повысились требования к максимальной частоте вращения и габаритным размерам генератора, исходя из условий его компоновки в ограниченном подкапотном пространстве автомобиля.

Удовлетворение указанных требований путём совершенствования конструкции и технологии производства генераторов постоянного тока, учитывая низкую надёжность работы щёточно-коллекторного узла и малый срок его службы, а также большие габариты и массу генератора, практически оказалось неосуществимо. С помощью научного поиска и исследований было определено новое направление в развитии автомобильных генераторов – генераторы переменного тока.

Название «генератор переменного тока» несколько условно и касается в основном особенностей внутренней его конструкции, так как этот генератор имеет встроенный полупроводниковый выпрямитель и питает потребителей постоянным (выпрямленным) током.

В генераторах постоянного тока таким выпрямителем является щёточно-коллекторный узел, выпрямляющий переменный ток, полученный в обмотках якоря. Развитие полупроводниковой техники позволило применить в генераторах переменного тока более совершенный выпрямитель на полупроводниковых вентилях (диодах). При этом генератор получил качества, которые обеспечили ему широкое распространение в автомобилестроении.

Основными технико-экономическими преимуществами генераторов переменного тока перед генераторами постоянного тока являются:

– уменьшение в 1,8–2,5 раза массы генератора при той же мощности и снижение примерно в 3 раза расхода меди;
– бóльшая максимальная мощность при равных габаритах;
– меньшее значение начальных частот вращения и обеспечение более высокой степени заряженности аккумуляторных батарей;
– значительное упрощение схемы и конструкции регулирующего устройства вследствие исключения из него элемента ограничения тока и реле обратного тока;
– уменьшение стоимости эксплуатационных затрат в связи с большей надёжностью работы и повышенным сроком службы.

Для автомобильных генераторов надёжность и срок службы определяются в основном тремя факторами:
– качеством электрической изоляции;
– качеством подшипниковых узлов;
– надёжностью щёточно-контактных устройств.

Первые два фактора зависят от уровня развития смежных производств. Третий фактор может быть исключён посредством разработки бесконтактных генераторов, имеющих более высокую надёжность и, следовательно, больший ресурс, чем контактные. Это обстоятельство стимулировало создание автомобильных бесконтактных генераторов переменного тока с электромагнитным возбуждением – индукторных генераторов и генераторов с укороченными полюсами.

Индукторные генераторы нашли широкое применение на тракторах и сельхозмашинах благодаря простоте конструкции, надёжности при работе в тяжёлых условиях эксплуатации (пыль, грязь, влага, вибрации) и невысокой стоимости.

Автомобильные генераторы классифицируются по принципу действия, конструктивным отличиям, электрической схеме, способу охлаждения, типу привода и ряду других признаков.

На рис. 3.1 представлена классификация автомобильных генераторов.

Основная масса генераторов современных автомобилей – это генераторы с контактными кольцами, позволяющие изменять силу тока в обмотке возбуждения.

Компактная конструкция имеет увеличенную частоту вращения ротора и изменённую систему охлаждения. Бесщёточные генераторы, приходящие на смену генераторам с контактными кольцами, имеют повышенную надёжность, однако уступают по массогабаритным показателям. Кроме того, такие генераторы сложнее в изготовлении. Стартер-генераторы обеспечивают существенно большую мощность (4–7 кВт) по сравнению с обычными генераторами, поэтому в перспективе будут вытеснять последние.

Электрическая схема генераторов переменного тока может быть трёхфазной и многофазной, причём последняя используется в индукторных генераторах и в новейших разработках компании Bosch для приближения формы напряжения к синусоидальной. Поскольку мощность современных генераторов превышает 1 кВт, то фазы обмоток статора соединяются треугольником для уменьшения толщины обмоточного провода.

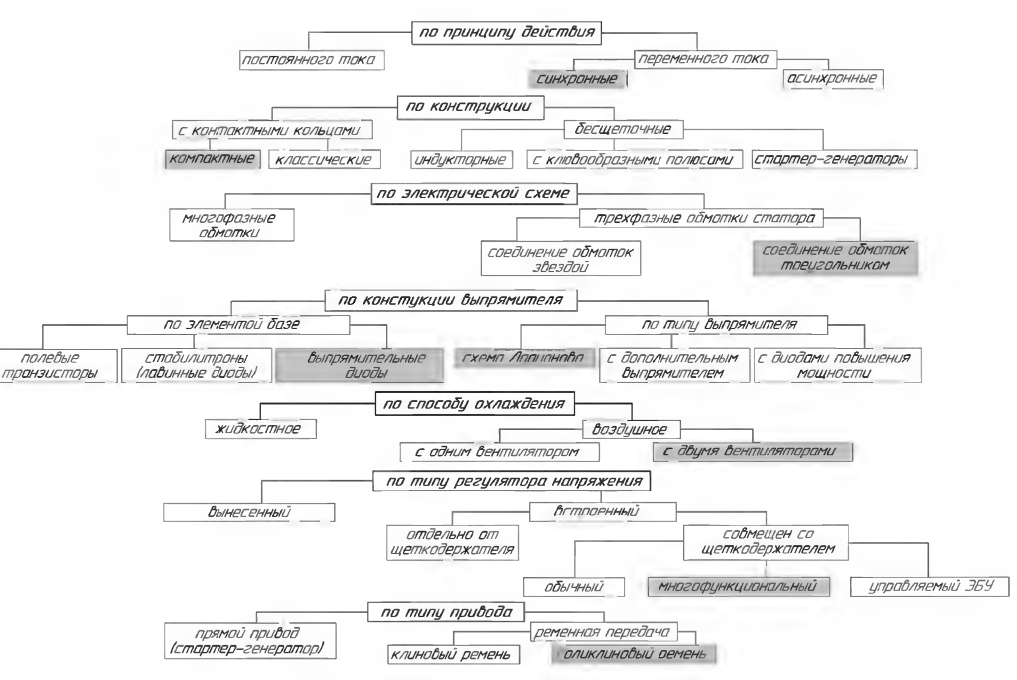


Рис. 3.1. Классификация автомобильных генераторов

Выпрямительные диоды большинства генераторов соединены по схеме Ларионова, представляющей собой мостовую трёхфазную схему. Диоды повышения мощности использовались только на генераторах с обмотками, соединёнными по схеме «звезда» для выпрямления третьей гармоники. Дополнительный выпрямитель также не используется в новых разработках,поскольку его функции возложены на многофункциональные регуляторы напряжения. Использование для коммутации тока полевых транзисторов позволяет снизить величину падения напряжения и общие потери энергии в выпрямительном блоке.

Регуляторы напряжения современных генераторов, как правило, конструктивно объединены со щёткодержателем. Обычные регуляторы напряжения, массово применявшиеся ранее на автомобилях, вытесняются многофункциональными, в том числе управляемыми электронным блоком управления двигателем посредством шин передачи данных (например, LIN).

По способу охлаждения генераторы делятся на генераторы воздушного и жидкостного охлаждения. Последнее используется на генераторах большой мощности, работающих в сложных условиях эксплуатации. Воздушное охлаждение классических генераторов обеспечивается одним вентилятором (крыльчаткой), а компактных – двумя вентиляторами.

Для привода генератора во вращение используется ремённая передача, причём на генераторах классической конструкции чаще всего используются одно- и двухручьевые шкивы, а компактные генераторы оборудуют поликлиновыми шкивами.

К важным требованиям к генератору транспортного средства относятся следующие:

- обеспечение всех подсоединённых потребителей постоянным напряжением;
- резерв мощности для быстрой зарядки или подзарядки батареи, даже при подсоединённых постоянно включённых потребителях;
- удерживание напряжения генератора постоянным в пределах всего диапазона частоты вращения двигателя транспортного средства, независимо от уровня нагрузки генератора;
- обеспечение заряда аккумуляторной батареи в любых условиях эксплуатации;
- прочная конструкция, способная выдержать все внешние нагрузки, например колебания, высокие температуры окружающей среды, изменения температуры, загрязнение, влажность;
- высокий срок службы, соизмеримый со сроком службы транспортного средства;
- эффективные массогабаритные показатели;
- незначительный рабочий шум;
- высокий коэффициент полезного действия.

§ 3.2. Принцип действия автомобильных генераторов

В основе работы генератора лежит эффект электромагнитной индукции. Если катушку, например, из медного провода, пронизывает магнитный поток, то при его изменении на выводах катушки появляется переменное электрическое напряжение. И наоборот, для образования магнитного потока достаточно пропустить через катушку электрический ток. Таким образом, для получения переменного электрического тока требуются катушка, по которой протекает постоянный электрический ток, образуя магнитный поток – обмотка возбуждения, и стальная полюсная система, назначение которой – подвести магнитный поток к катушкам, в которых наводится переменное напряжение – обмотке статора.

Эти катушки помещены в пазы стальной конструкции магнитопровода (пакета железа) статора. Обмотка статора с его магнитопроводом образует собственно статор генератора, его важнейшую неподвижную часть, в которой образуется электрический ток, а обмотка возбуждения с полюсной системой и некоторыми другими деталями (валом, контактными кольцами) – ротор, его важнейшую вращающуюся часть.

Существует три принципиально отличающихся конструкции синхронных генераторов переменного тока: бесконтактный с возбуждением от постоянных магнитов, контактный с электромагнитным возбуждением и бесконтактный с электромагнитным возбуждением.

На рис. 3.2 представлена модель бесконтактного однофазного синхронного генератора переменного тока с возбуждением от постоянного магнита, в котором вращающийся ротор – это двухполюсный постоянный магнит, а неподвижный магнитопровод с одной фазной обмоткой $W_ф$ – это статор. Синхронным он назван потому, что электрическая частота наведённой в фазной обмотке ЭДС $E_ф$ строго соответствует (синхронна) частоте вращения постоянного магнита.

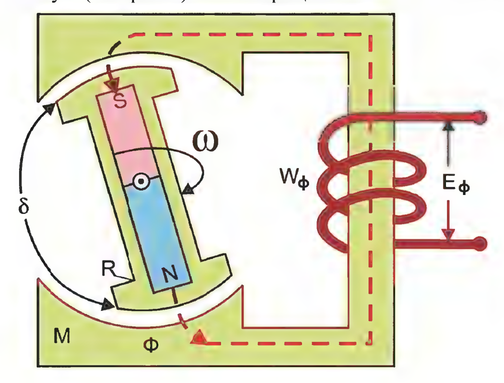


Рис. 3.2. Бесконтактный однофазный генератор

В реальных генераторах переменного тока с постоянными магнитами на роторе используются многополюсная система ротора и многофазная (чаще всего трёхфазная) система обмоток на статоре (рис. 3.3).

Недостатком таких конструкций является то, что величина ЭДС прямо пропорциональна частоте вращения ротора и регулировке не подлежит.

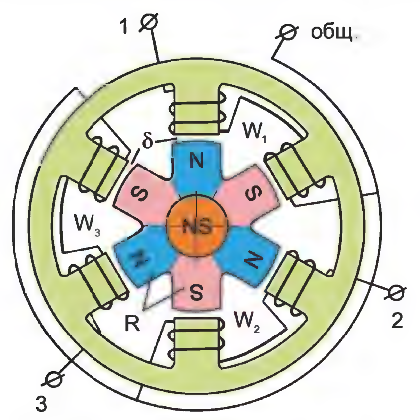


Рис. 3.3. Многофазный бесконтактный генератор

Для создания магнитного потока может быть использован не постоянный магнит, а электромагнит. Тогда на ротор помещается обмотка W_B возбуждения. Вращающаяся обмотка возбуждения соединяется с внешней электрической цепью при помощи контактных колец на роторе и неподвижных щёток на крышке генератора, который в таком случае называется генератором переменного тока с контактными кольцами. Модель такого генератора показана на рис. 3.4.

Его принципиальным отличием от предыдущего генератора с постоянными магнитами является возможность изменения величины магнитодвижущей силы ротора, что позволяет регулировать величину выходного напряжения генератора.

Необходимость управления напряжением автомобильного генератора связана с его работой в условиях непрерывно изменяющихся оборотов ротора. Так как в генераторе с роторной обмоткой возбуждения электродвижущая сила $E_ф$ есть функция двух переменных $E_ф = f(B, n)$, то увеличение электродвижущей силы при повышении оборотов (n) двигателя внутреннего сгорания можно компенсировать соответствующим уменьшением тока $I_в$ возбуждения в роторной обмотке возбуждения.

Возможен и третий вариант конструктивного исполнения автомобильного генератора переменного тока, когда ротором является магнитомягкая пассивная

ферромасса (например, спрессованный набор тонких пластин из трансформаторного железа), а обмотка возбуждения постоянного магнита помещена вместе с фазной обмоткой на статоре (рис. 3.5).

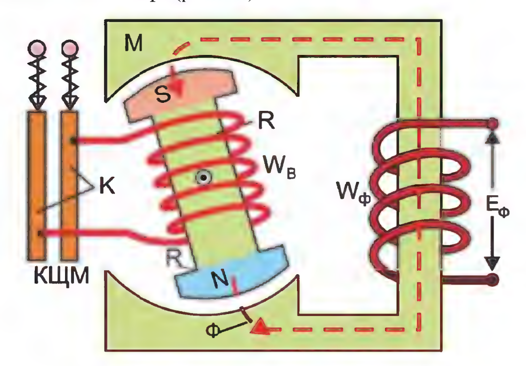


Рис. 3.4. Синхронный генератор переменного тока с контактными кольцами

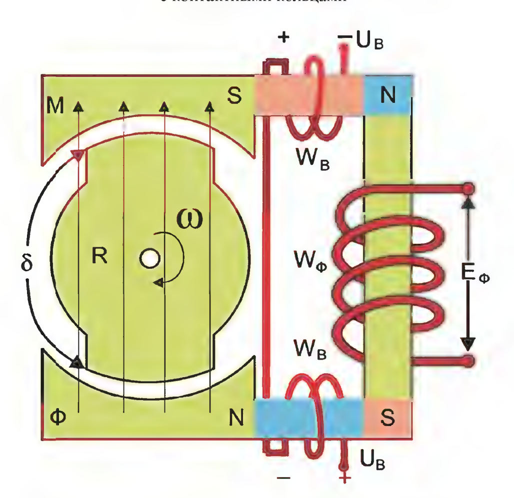


Рис. 3.5. Индукторный генератор переменного тока с расположением обмоток W_B электромагнитного возбуждения на статоре

Такие генераторы называются индукторными и в последнее время находят применение на автомобилях.

§ 3.3. Конструктивное исполнение автомобильных генераторов

Генераторы классической конструкции

Классическая конструкция автомобильного генератора характеризуется большим внешним вентилятором, обеспечивающим однопоточную осевую вентиляцию (рис. 3.6). Поскольку выпрямитель, регулятор и система щёток и коллекторных колец располагаются внутри торцевого щита, то вал внутри коллекторных колец должен быть относительно толстым, чтобы передавать силы ремённого привода на внешний шарикоподшипник. Поэтому коллекторные кольца имеют больший диаметр, ограничивающий срок службы щёток.

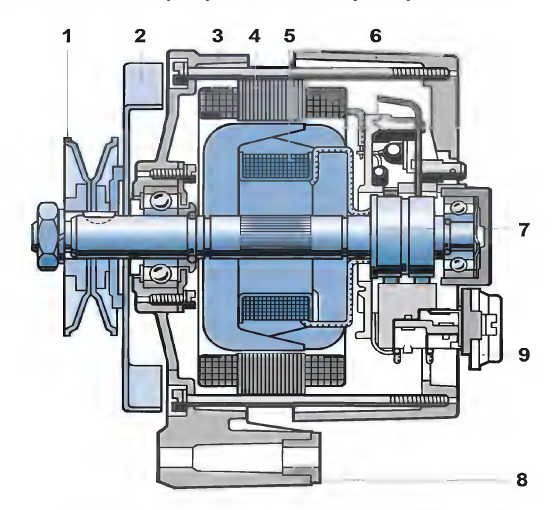


Рис. 3.6. Устройство генератора классической конструкции:
1 – торцевой щит; 2 – радиатор выпрямителя; 3 – силовой диод; 4 – диод выпрямителя; 5 – щит со стороны привода с монтажными фланцами; 6 – ремённой шкив; 7 – внешний вентилятор; 8 – статор; 9 – ротор с клювообразными полюсами

Двойной генератор

Двойной генератор состоит из двух электрически и механически связанных общим корпусом классических генераторов (рис. 3.7). Электрическое переключение двух статоров и двух систем возбуждения представлено на рис. 3.8.

Рис. 3.7. Конструкция двойного генератора:
1 – вентилятор; 2 – передняя крышка; 3 – шкив; 4 передний подшипник; 5 – крепёжная лапа; 6 – обмотка статора № 1; 7 – обмотка возбуждения № 1; 8 – обмотка статора № 2; 9 – обмотка возбуждения № 2; 10 – опора кабельных проводов; 11 – щёткодержатель; 12 – задний подшипник; 13 – контактное кольцо; 14 – задняя крышка; 15 – выпрямитель

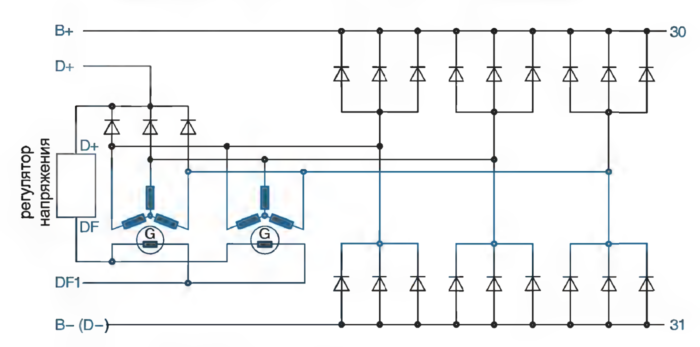


Рис. 3.8. Электрическая схема двойного генератора

Двойной генератор используется в автобусах, которые вследствие растущих потребностей к комфорту предъявляют большие требования к мощности генератора.

Компактные генераторы

Генераторы современных легковых автомобилей охлаждаются двухпоточной вентиляцией, обеспечиваемой двумя внутренними вентиляторами. Охлаждающий поток направляется из окружающего воздуха вдоль оси и выходит из генератора радиально вблизи лобовых частей статорных обмоток через щели в подшипниковых щитках со стороны привода и со стороны контактных колец.

На рис. 3.9 показано устройство генератора в разрезе.

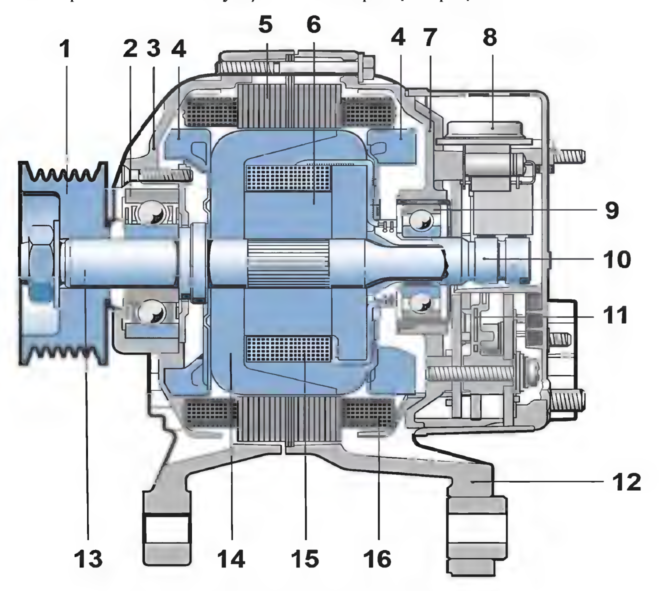


Рис. 3.9. Конструкция компактного генератора:
1 – шкив генератора; 2 – передний подшипник; 3 – передняя крышка; 4 – крыльчатка; 5 – статор; 6 – стальная втулка; 7 – задняя крышка; 8 – щеткодержатель, объединенный с регулятором напряжения; 9 – задний подшипник; 10 – контактные кольца; 11 – выпрямительный блок; 12 – крепёжная лапа; 13 – вал ротора; 14 – клювообразный ротор; 15 – обмотка ротора; 16 – обмотка статора

Основные преимущества генератора компактной конструкции:

– высокая степень использования благодаря высокой максимальной частоте вращения;

– низкий уровень аэродинамических шумов благодаря небольшому диаметру вентиляторов;
– низкий уровень магнитного шума;
– большой срок службы щёток из-за меньшего размера диаметра контактных колец.

Бесщёточные генераторы

Являются вариацией конструкции клювообразно-полюсного устройства, в котором вращаются только клювообразные полюсы, тогда как обмотка возбуждения остаётся неподвижной (см. рис. 3.10). Одна из полюсных половин удерживается напротив другой полюсной половины посредством немагнитного кольца. Магнитный поток, кроме нормального рабочего зазора, должен пересекать два дополнительных воздушных зазора. С помощью этой конструкции выпрямитель подаёт ток в обмотку возбуждения непосредственно через регулятор напряжения, поэтому контактные кольца и щётки не нужны.

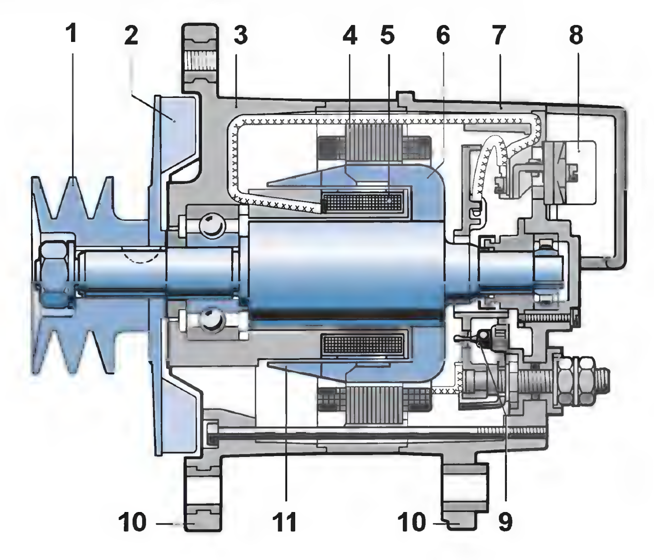


Рис. 3.10. Конструкция бесщеточного генератора:
1 – двухручьевой шкив; 2 – вентилятор; 3 – передняя крышка; 4 – пакет статора; 5 – неподвижная обмотка возбуждения; 6 – вращающаяся полюсная половина; 7 – задняя крышка; 8 – регулятор напряжения; 9 – силовые диоды выпрямителя; 10 – детали крепления; 11 – полюсная половина, приваренная к вращающейся половине

Такая конструкция позволяет избежать износа, характерного для генераторов с контактными кольцами, позволяя повысить срок службы. Недостатком бесщёточных генераторов является несколько большая масса и технологическая сложность конструкции.

В генераторах с укороченными полюсами бесконтактность достигается за счёт неподвижного крепления обмотки возбуждения *4* (рис. 3.11) с помощью немагнитной обоймы *1*. Полюсы *2* клювообразной формы имеют длину меньше половины длины активной части ротора. В процессе вращения ротора магнитный поток возбуждения пересекает витки обмотки статора *3*, индуцируя в них ЭДС. Эти генераторы просты по конструкции, технологичны. Роторы имеют малое рассеяние. К недостаткам можно отнести несколько большую, чем у контактных генераторов, массу при той же мощности. Также следует отметить трудность крепления обмотки возбуждения и обеспечения жёсткости и механической прочности её крепления.

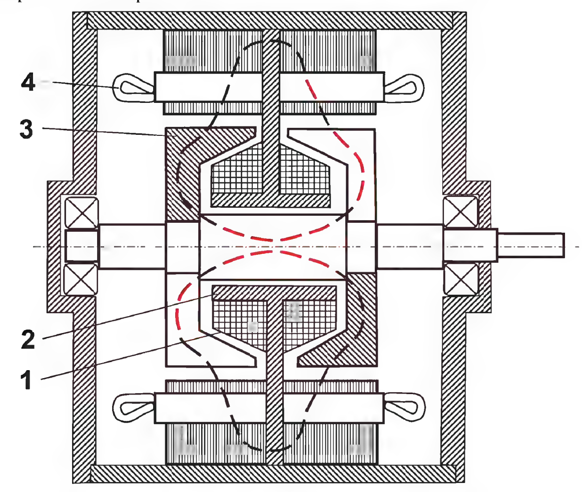


Рис. 3.11. Генератор с укороченными полюсами:
1 – немагнитная обойма, 2 – клювообразные полюса, 3 – обмотка статора, 4 – обмотка возбуждения

Бесщеточный генератор является индукторным генератором с неподвижной обмоткой возбуждения, ротор которого представляет собой стальную многолучевую звёздочку на валу (рис. 3.12). Обмотка возбуждения закреплена в стальной крышке. Магнитный поток, проходящий из ротора в статор *1* через зубцы звёздочки ротора, велик, а в промежутках между зубцами (по воздуху) мал. При вращении ротора напротив катушек обмоток фаз статора последовательно

оказываются то зубцы, то впадины ротора. Пронизывающий их магнитный поток изменяется по величине, и в катушках появляется переменное напряжение. Для увеличения степени изменения магнитного потока и, следовательно, повышения мощности генератора во впадинах звёздочки ротора закреплены постоянные магниты.

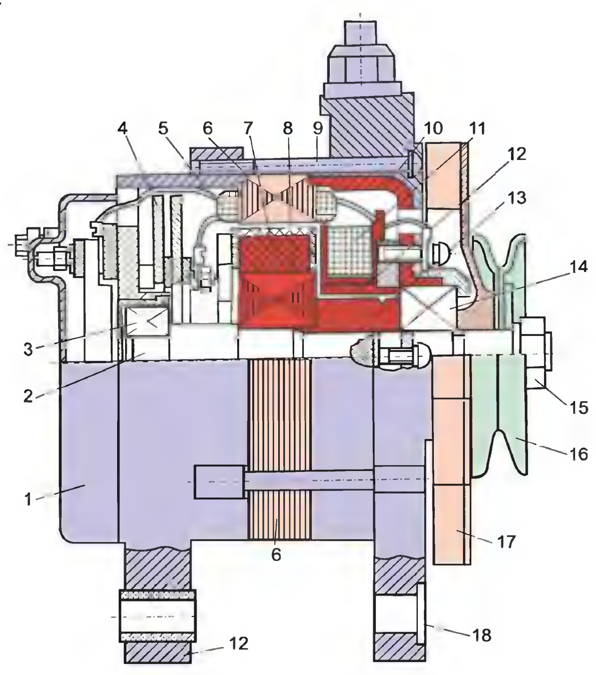


Рис. 3.12. Конструкция индукторного генератора:
1 – кожух; 2 – вал; 3, 14 – подшипники; 4 – выпрямительный блок генератора; 5 – обмотка статора; 6 – магнитопровод статора; 7 – постоянный магнит; 8 – звёздочка ротора; 9 – стяжной винт; 10 – магнитопровод индуктора в передней крышке; 11 – обмотка возбуждения; 12 – втулка индуктора; 13 – втулка ротора; 15 – гайка; 16 – шкив; 17 – крыльчатка вентилятора; 18 – крепёжная лапа

Сердечник статора генератора имеет пазы, в которых расположены катушки обмотки статора, закреплённые там пазовыми клиньями. Катушки фаз соединены между собой последовательно, а фазы – в «треугольник» или, при пятифазной конструкции, в «пятиугольник». Сердечник статора зажат между

двумя крышками: задней, выполненной из алюминиевого сплава, и передней. Передняя крышка стальная, поскольку она является магнитопроводом (проводит магнитный поток, образованный неподвижной обмоткой возбуждения, которая расположена на втулке индуктора генератора). Индуктор фланцем прижат к торцу передней крышки.

На вал ротора генератора надеты втулка, в которую через дополнительный воздушный зазор проходит магнитный поток из втулки индуктора; звёздочка пакета ротора с шестью зубцами, набранная из стальных листов; алюминиевый фланец, в выступах которого, расположенных между зубцами пакета ротора, залиты постоянные магниты. Эти магниты, кроме повышения мощности генератора, обеспечивают надёжное его самовозбуждение, то есть возможность работы генератора при отключённой аккумуляторной батарее.

Подшипниковый щит *5* генератора выполнен из алюминиевого сплава. Задняя крышка стянута с ним шпильками. Выпрямительный блок расположен во внутренней полости задней крышки и закреплён на ней тремя изолированными болтами. Блок регулятора напряжения, содержащий интегральный регулятор напряжения и подстроечный резистор, расположен на наружной поверхности задней крышки и закрыт пластмассовым кожухом.

В бесщеточных генераторах для расширения диапазона скоростного режима кроме основной обмотки возбуждения применяют встречно ей включённую размагничивающую обмотку. Такое решение позволяет использовать бесщеточные генераторы на легковых автомобилях, например генератор типа 955.3701.

Генераторы переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов используются на мотоциклах. Внешний ротор с несколькими парами постоянных магнитов благодаря большему моменту инерции выполняет функцию маховика в небольших двигателях. В данном исполнении ротор постоянных магнитов приводится коленчатым валом. В неподвижной трёхфазной обмотке статора (рис. 3.13) вырабатывается трёхфазный ток. Он выпрямляется в электронном блоке, причём напряжение ограничивается значением 14 В.



Рис. 3.13. Генератор переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов

Если достигается напряжение, ограниченное регулятором, электронный регулятор запускает тиристоры, чем замыкает выводы фаз обмотки статора на «массу» (рис. 3.14), и напряжение генератора уменьшается.

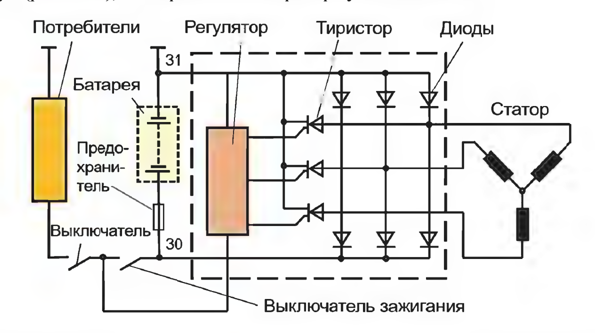


Рис. 3.14. Схема соединений трёхфазного генератора переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов

Безобмоточный ротор также используется в генераторах с жидкостным охлаждением (рис. 3.15). Жидкостное охлаждение генераторов применяют для обеспечения быстрого прогрева холодного двигателя после запуска и снижения выбросов углеводородов в отработавших газах. В рубашку генератора *18* через патрубки поступает охлаждающая жидкость из системы охлаждения двигателя. Особенностью такого генератора является конструкция крепления клювообразных половин магнитной системы ротора *11*, которые сварены между собой с помощью немагнитного внутреннего кольца *12*. Вал ротора *14* имеет сложную конфигурацию, так как в этой конструкции генератора необходимо обеспечить магнитную связь ротора и неподвижной обмотки возбуждения *16*. В принципе работа этого генератора аналогична работе щёточного генератора. Электронные компоненты монтируются на передней крышке, находящейся со стороны привода.

Преимущества жидкостного охлаждения:

– сниженная шумность благодаря отсутствию вентилятора;
– отсутствие вибраций благодаря высокой жёсткости закрытого корпуса генератора;
– сниженные затраты мощности на привод благодаря отсутствию вентилятора и повышение КПД;
– утилизация тепла, возвращаемого в систему охлаждения двигателя в процессе его прогрева;
– высокая отдача мощности благодаря эффективному охлаждению на всех скоростных режимах;
– независимость теплового состояния от температуры окружающего воздуха.

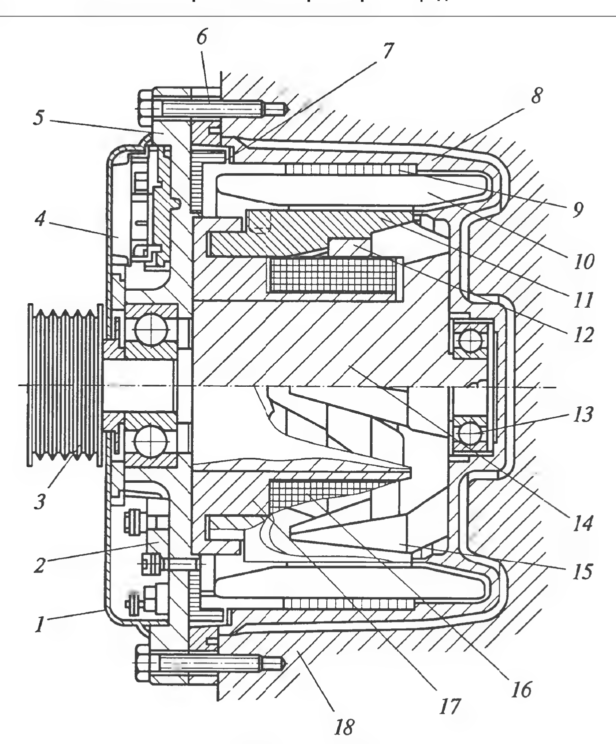


Рис. 3.15. Конструкция генератора с жидкостным охлаждением:
1 – защитная крышка; 2 – выпрямительный блок; 3 – шкив привода; 4 – интегральный регулятор напряжения; 5 – передняя крышка со стороны привода; 6 – винты; 7 – магнитопровод неподвижный; 8 – внутренний корпус генератора; 9 – статор; 10 – фазные обмотки; 11 – ротор; 12 – немагнитное кольцо; 13 – подшипник; 14 – вал ротора; 15 – полюс ротора; 16 – неподвижная обмотка возбуждения; 17 – магнитопровод обмотки возбуждения; 18 – рубашка генератора (между рубашкой и внутренним корпусом находится охлаждающая жидкость)

Генераторы с явно выраженными полюсами

В особых случаях при экстремально высокой потребляемой мощности (например, в междугородних автобусах) требуется использование генераторов с явно выраженными полюсами (рис. 3.16).

Ротор обладает отдельными магнитными полями с обмоткой возбуждения для каждого поля. Данный тип конструкции позволяет получить более длинный статор (в пересчёте на диаметр) по сравнению с генератором с клювообразным ротором. Вследствие этого при таком же диаметре можно получить более высокую мощность. Достижимая максимальная частота вращения сокращается по сравнению с клювообразным типом конструкции, так как обмотка ротора не так хорошо защищена от центробежных сил, как в генераторах с клювообразным ротором.

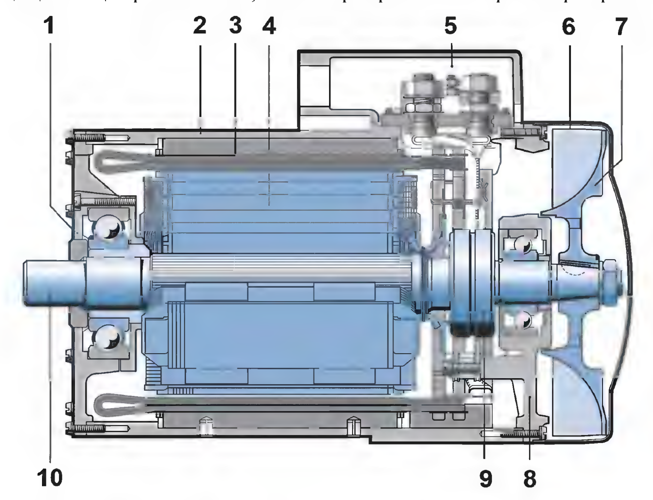


Рис. 3.16. Генератор с явно выраженными полюсами:
1 – крышка со стороны привода; 2 – корпус; 3 – обмотка статора; 4 – ротор; 5 – трёхфазный вывод (внешний выпрямитель и регулятор напряжения); 6 – закрывающаяся крышка; 7 – вентилятор; 8 – крышка со стороны контактных колец; 9 – контактное кольцо; 10 – приводной вал

Вследствие значительно более высокого тока возбуждения – по сравнению с генератором с клювообразным ротором – потери в регуляторе также высоки. Поэтому регулятор устанавливается в отдельном корпусе вдали от генератора, где он может лучше охлаждаться.

Генератор с самовозбуждением

Требуемое возбуждение создается и контролируется электронным контроллером в неподвижной обмотке возбуждающего устройства. Трехфазная обмотка его вращающейся части генерирует уже отрегулированное электрическое напряжение. Оно направляется через диоды, расположенные в роторе, и подается в катушку возбуждения основного ротора с клювообразными полюсами.

Возникающее в основной трехфазной обмотке статора напряжение используется для снабжения потребителей и заряда аккумуляторной батареи.

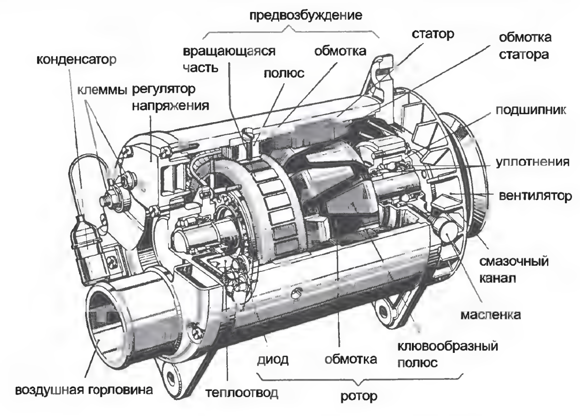


Рис. 3.17. Устройство генератора с самовозбуждением

Электрическая схема генератора с самовозбуждением приведена на рис. 3.18.

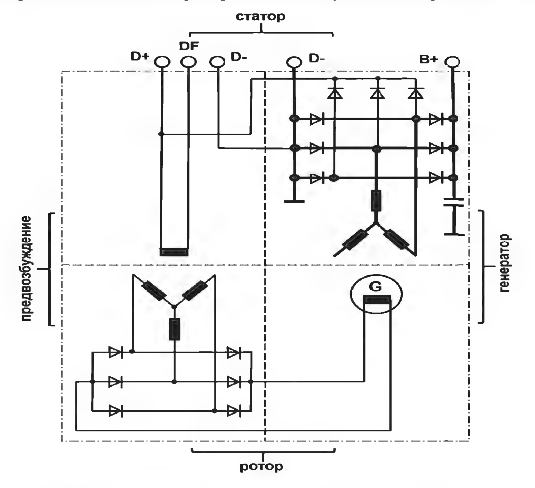


Рис. 3.18. Электрическая схема генератора с самовозбуждением

Стартер-генератор

Стартер-генераторы (рис. 3.19) с ремённым приводом, рассчитанные на напряжение 48 В, обладают мощностью до 7 кВт в генераторном режиме и до 13 кВт – в стартерном, развивая при этом крутящий момент до 160 Н·м.

По конструкции это могут быть как синхронные машины с клювообразными полюсами, отличающиеся лишь повышенным напряжением, так и асинхронные с короткозамкнутым ротором, устройство которых показано на рис. 3.20.



Рис. 3.19. Стартер-генераторы с ремённым приводом с воздушным (слева) и жидкостным охлаждением

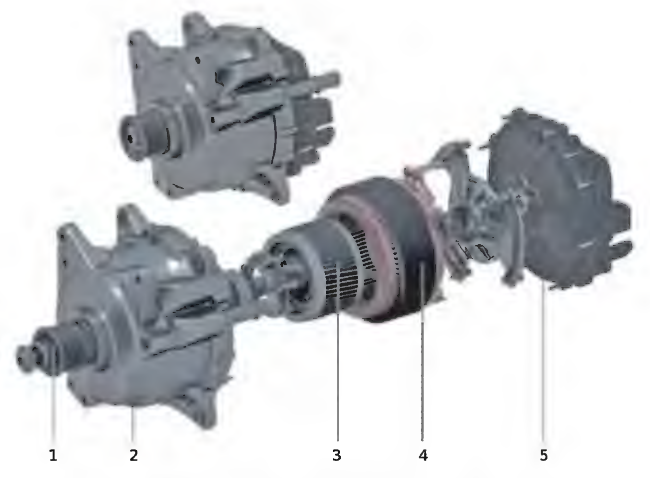


Рис. 3.20. Устройство 48-вольтного асинхронного стартер-генератора:
1 – приводной шкив; 2 – корпус стартер-генератора; 3 – короткозамкнутый ротор; 4 – статор; 5 – задняя крышка

§ 3.4. Устройство элементов автомобильного генератора

3.4.1. Статор генератора

Статор генератора (рис. 3.21) набирается из отдельных листов изотропной электротехнической стали толщиной 0,8–1,0 мм, изолированных друг от друга лаком или оксидированием для снижения потерь на перемагничивание. Статор имеет 36, 48 или 72 паза, в которые укладывается обмотка статора, выполненная из эмалированного медного провода диаметром 1.0–2,0 мм. Пазы изолированы плёночной изоляцией (полиэтилентерефталат) или напылением эпоксидного компаунда. Обмотка закрепляется в пазе клином из изоляционного материала. Обязательной является пропитка статора лаком после укладки обмотки.

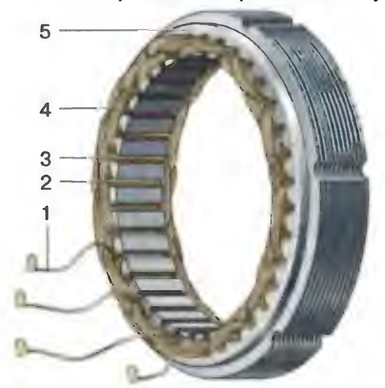


Рис. 3.21. Конструкция статора в сборе:
1 – вывод фазы обмотки статора, 2 – пазовая часть обмотки статора, 3 – пазовый клин, 4 – лобовая часть обмотки статора, 5 – пакет пластин статора

В трёхфазном генераторе в статоре находятся три одинаковых обмотки, которые расположены в пространстве смещёнными на 120° по отношению друг к другу. Вследствие смещения обмоток в пространстве на 120° синусоидальные переменные напряжения, произведённые в них, в каждом случае сдвинуты по фазе друг к другу на 120° (смещены по времени). Получаемый в результате переменный ток называется трёхфазным током.

При не связанных обмотках требовалось бы шесть электрических подключений для обмотки статора (рис. 3.22, *a*). Посредством соединения трёх обмоток в звезду (рис. 3.22, *b*) или треугольник (рис. 3.22, *c*) количество электропроводов сокращается до трёх.

В соединении фаз звездой все обмотки одним выводом соединены в средней точке. Такое соединение обладает хорошими выходными характеристиками при низких оборотах автомобильного двигателя. Соединение фаз треугольником выполнено по схеме «конец-в-конец», то есть конец одной обмотки соединён с началом другой. Это соединение имеет высокие нагрузочные характеристики.

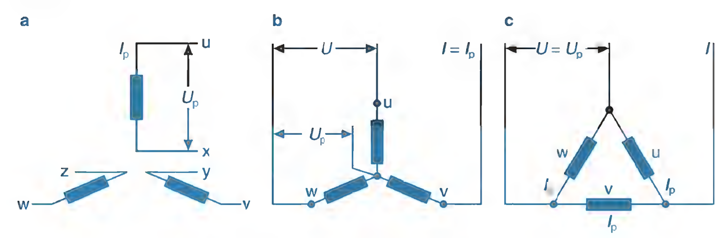


Рис. 3.22. Способы соединения трёх обмоток генератора:
a – не соединённая обмотка;
b – соединение в звезду; напряжение генератора U и фазное напряжение $U_ф$
(частичное напряжение) различаются по фактору $\sqrt{3} = 1,73$.
Ток генератора I равен фазному току $I_ф$; $U = \sqrt{3} \cdot U_ф$, $I = I_ф$;
c – соединение треугольником; напряжение генератора U равно фазному напряжению $U_ф$.
Ток генератора I и фазный ток $I_ф$ *различаются по фактору*
$\sqrt{3} = 1,73$; $U = U_ф$, $I = \sqrt{3} \cdot I_ф$

Схема распределенной волновой обмотки статора приведена на рис. 3.23. Обмотка названа волновой, поскольку ее лобовые соединения расположены поочередно то с одной, то с другой стороны статора, напоминая волну.

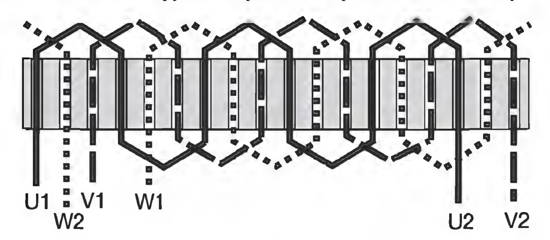


Рис. 3.23. Схема распределенной волновой обмотки статора

Многофазные обмотки статора могут соединяться по схеме многоугольника или пентаграммы (см. рис. 3.24).

Компания Bosch разработала статор (рис. 3.25), который имеет пятифазную обмотку, соединённую по схеме пентаграммы. Применение данной схемы позволяет уменьшить пульсации выпрямленного напряжения, снизить толщину

обмоточного провода и значительно ослабляет магнитный шум, особенно когда двигатель работает на малых оборотах.

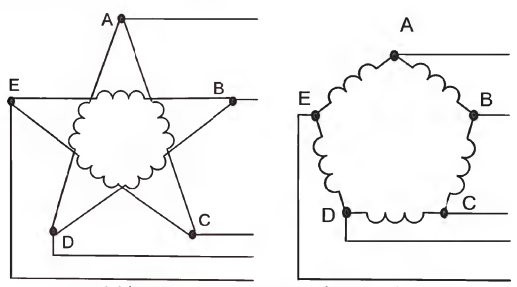


Рис. 3.24. Схемы соединения пятифазных обмоток



Рис. 3.25. Статор с пятифазной обмоткой

3.4.2. Ротор генератора

В основе названия «генератор с клювообразным ротором» лежит ротор: он состоит из двух противоположно поляризованных половинок индуктора, чьи клювообразные полюса взаимно как южный и северный полюса входят в зацепление друг с другом.

Фактическое число полюсов ограничено. Небольшое число полюсов приводит к незначительному использованию машины, в то время как высокое число полюсов значительно повышает потери магнитного потока рассеяния. Поэтому генераторы в зависимости от мощности бывают 12- и 16-полюсными.

Обмотка возбуждения в сборе с ротором пропитывается лаком. Клювы полюсов по краям обычно имеют скосы с одной или двух сторон для уменьшения магнитного шума генератора.

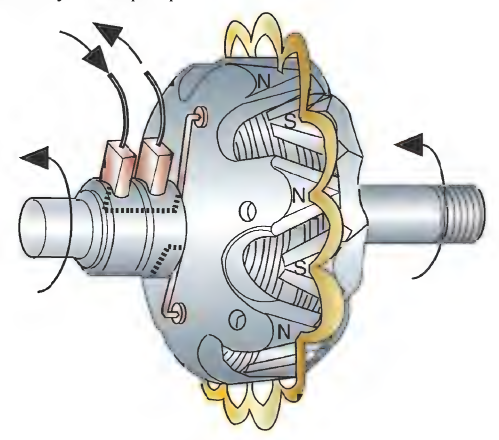


Рис. 3.26. Образование магнитного потока в роторе генератора

В некоторых конструкциях для той же цели под острыми концами клювов размещается антишумовое немагнитное кольцо, расположенное над обмоткой возбуждения. Это кольцо предотвращает возможность колебания клювов при изменении магнитного потока и. следовательно, излучения ими магнитного шума.

У генераторов смешанного магнитно-электромагнитного возбуждения между клювами располагаются постоянные магниты, намагниченные в направлении, перпендикулярном оси генератора таким образом, что северный полюс магнита примыкает к северному полюсу (клюву) ротора, а южный – к южному полюсу.

После сборки производится динамическая балансировка ротора, которая осуществляется высверливанием излишка материала у полюсных половин. Балансировка роторов генераторов компактной конструкции производится в сборе их с вентиляторами.

На валу ротора располагаются также контактные кольца, выполняемые чаще всего из меди с опрессовкой их пластмассой. К кольцам припаиваются или привариваются выводы обмотки возбуждения. Иногда кольца выполняются из латуни или нержавеющей стали, что снижает их износ и окисление, особенно при работе во влажной среде. Встречаются также кольца, расположенные по торцу вала.

Диаметр колец при расположении щёточно-контактного узла вне внутренней полости генератора не может превышать внутренний диаметр подшипника,

устанавливаемого в крышку со стороны контактных колец, так как при сборке подшипник проходит над кольцами. Малый диаметр колец способствует уменьшению износа щёток.

Валы роторов выполняют, как правило, из мягкой автоматной стали, но при применении роликового подшипника, ролики которого работают непосредственно по поверхности конца вала со стороны контактных колец, – из легированной стали, а цапфу вала цементируют и закаливают.



Рис. 3.27. Ротор компактного генератора:
а – вид со стороны привода, б – вид со стороны контактных колец;
в – ротор с установленным подшипником;
1 – обмотка возбуждения, 2 – полюсные половины, 3 – контактные кольца,
4 – вал, 5 – вентиляторы центробежные, 6 – подшипник

На конце вала, снабжённом резьбой, прорезают паз под шпонку для крепления шкива. Однако во многих современных конструкциях шпонка отсутствует. В этом случае торцевая часть вала имеет обычно углубление под ключ в виде шестигранника или звёздочки. Это позволяет удерживать вал от проворота при затяжке гайки крепления шкива или при разборке, когда необходимо снять шкив и вентилятор.

3.4.3. Выпрямительный блок

Диодный выпрямительный блок на трёх параллельных полумостах на шести полупроводниковых диодах (по схеме советского учёного-электротехника Ларионова Андрея Николаевича) преобразует переменный трёхфазный ток статора в постоянный ток (вернее, в однонаправленный пульсирующий) на выходе генератора. Выпрямительные диоды генератора играют роль одностороннего вентиля (отсюда название – вентильный генератор), пропускающего ток только в одном направлении, тем самым блокируя протекание электрического тока из бортовой сети автомобиля к обмоткам статора.

Выпрямительный блок представляет собой две металлические пластины теплоотвода, в которые запрессовывают диоды таблеточного типа разной полярности (по три в каждую). Три малых диода выполняют вспомогательную функцию. Рифлёный металлический корпус положительных диодов выполнен как катод, а корпус отрицательных диодов – как анод. Положительные диоды запрессованы в положительный теплоотвод, который соединен с выводом В+.

Металлический корпус отрицательного диода, запрессованного в отрицательный теплоотвод, соединен с «массой».

Проволочные выводы диодов присоединены к концам обмотки статора. В качестве силовых диодов на сегодняшний день главным образом используются диоды Зенера (Z-диоды). Они ограничивают скачки напряжения, возникающие в генераторе при сильном изменении нагрузки (защита при резком сбросе нагрузки на генератор).

Трехфазный генератор обычно не имеет защиты от неправильной полярности. Неправильная полярность батареи (например, смешивание полюсов батареи при облегчении пуска с использованием внешней батареи) может привести к повреждению диодов в генераторе.

Включение выпрямительных блоков в схему генератора осуществляется распайкой или сваркой выводов фаз на специальных монтажных площадках выпрямителя или винтами.

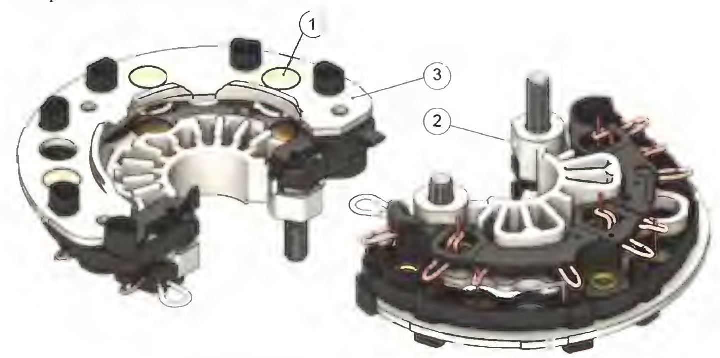


Рис. 3.28. Конструкция выпрямительного блока:
1 – диоды генератора; 2 – положительный теплоотвод;
3 – отрицательный теплоотвод

3.4.4. Щёткодержатель

Конструкция всех щёточных узлов принципиально одинаковая. Основу узла составляет пластиковый корпус с двумя параллельными каналами, в которых находятся щётки с прижимными пружинами. Щётки гибкими медными проводниками (плетёными тросиками или просто многожильными проводами) соединены с электрическими контактами, выполненными на обратной стороне щёткодержателя.

Щётки имеют форму стержней прямоугольного сечения: такая форма обеспечивает наилучший контакт щёток с контактными кольцами. Щётки прижимаются к кольцам пружинами, новые щётки постепенно прирабатываются,

их торцы приобретают полукруглую форму, чем обеспечивается наилучший контакт с контактными кольцами.

В автомобильных генераторах применяются щётки двух типов – меднографитные и электрографитные. Последние имеют повышенное падение напряжения в контакте с кольцом по сравнению с меднографитными, что неблагоприятно сказывается на выходных характеристиках генератора, однако они обеспечивают значительно меньший износ контактных колец.

Щётки прижимаются к кольцам усилием пружин. Обычно щётки устанавливаются по радиусу контактных колец, но встречаются и так называемые реактивные щёткодержатели, где ось щёток образует угол с радиусом кольца в месте контакта щётки. Это уменьшает трение щётки в направляющих щёткодержателя, и тем обеспечивается более надёжный контакт щётки с кольцом. Часто щёткодержатель и регулятор напряжения образуют неразборный единый узел.

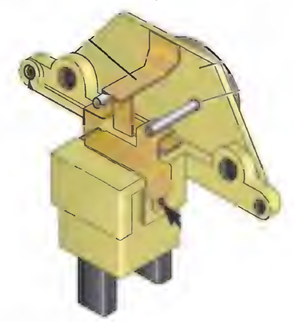


Рис. 3.29. Конструкция щёткодержателя

3.4.5. Подшипниковые узлы

Подшипниковые узлы генераторов – это, как правило, радиальные шариковые подшипники с одноразовой закладкой пластичной смазки на весь срок службы и одно- или двухсторонними уплотнениями, встроенными в подшипник. Посадка шариковых подшипников на вал со стороны контактных колец обычно плотная, со стороны привода – скользящая, а в посадочное место крышки, наоборот, со стороны контактных колец – скользящая, со стороны привода – плотная.

Так как наружная обойма подшипника со стороны контактных колец имеет возможность проворачиваться в посадочном месте крышки, то подшипник и крышка могут вскоре выйти из строя, возникнет задевание ротора за статор. Для предотвращения проворачивания подшипника в посадочное место крышки помещают различные устройства – резиновые кольца, пластмассовые стаканчики, гофрированные стальные пружины и т. п.

3.4.6. Привод генератора

Привод генератора осуществляется клиновым (поликлиновым) ремнём через шкив, установленный на валу ротора. Поликлиновый ремень обладает рядом преимуществ перед клиновым. Он более узкий, соответственно, благодаря большей гибкости может работать на шкивах меньшего диаметра. Немаловажно и то, что поликлиновый ремень в работе может изгибаться в обоих направлениях, а клиновый из-за своей жёсткости – только в одном. Все это даёт возможность поликлиновому ремню осуществлять вращение одновременно нескольких агрегатов, также у него более высокий, по сравнению с клиновым, КПД.

Качество обеспечения питанием потребителей электроэнергии, в том числе заряда аккумуляторной батареи, зависит от передаточного числа ремённой передачи, равного отношению диаметров ручьёв приводного шкива генератора к шкиву коленчатого вала. Для повышения качества питания электропотребителей это число должно быть как можно больше, так как при этом частота вращения генератора повышается, и он способен отдать потребителям больший ток. Однако при слишком больших передаточных числах происходит ускоренный износ приводного ремня, поэтому передаточные числа передачи двигатель – генератор для клиновых ремней лежат в пределах 1,8–2.5. для поликлиновых – до 3.

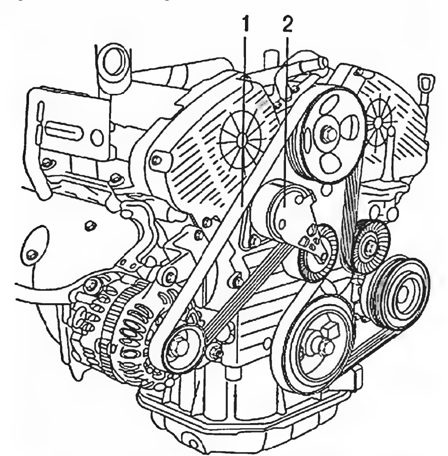


Рис. 3.30. Привод генератора поликлиновым ремнём:
1 – поликлиновый ремень; 2 – натяжное устройство

На двигателе V10 TDI автомобиля Volkswagen Touareg генератор приводится через шестерни раздаточного механизма и двухступенчатую передачу с передаточным числом i = 3,6. На валу генератора установлена муфта с упругой шайбой Hardy (рис. 3.31).

Двухступенчатая передача повышает частоту вращения генератора, в соответствии с которой увеличивается его электрическая мощность. Таким образом удаётся удовлетворять потребности электрооборудования автомобиля даже при работе двигателя на холостом ходу.



Рис. 3.31. Генератор с шестерёнчатым приводом

На ряде автомобилей, оснащённых стартер-генераторами, используется привод зубчатым ремнём (рис. 3.32), исключающий вероятность проскальзывания в тяговом режиме (при запуске ДВС).



Рис. 3.32. Привод генератора зубчатым ремнём

3.4.7. Обгонная муфта шкива генератора

Обгонная муфта шкива генератора предназначена для сведения к минимуму нежелательных воздействий неравномерности вращения коленчатого вала.

У муфты две обоймы: наружная связана со шкивом, внутренняя – с валом ротора генератора. Между обоймами расположено несколько рядов роликов. Одни исполняют роль игольчатых подшипников, другие, перекатывающиеся по профилированной части поверхности внутренней обоймы – роль стопорного устройства.

Когда в моменты сгорания в цилиндрах шкив разгоняет ротор генератора, стопорные ролики, перекатившись к вершинам выступов, «замыкают» наружную и внутреннюю обоймы муфты между собой, и крутящий момент передается на ротор.

Но если сгорания нет и в цилиндрах происходит сжатие, притормаживающее вращение коленчатого вала, внутренняя обойма муфты начинает обгонять наружную, ролики перемещаются во впадины рабочей поверхности внутренней обоймы, обоймы разъединяются. Шкив и ротор при этом вращаются независимо друг от друга, чем исключается негативное влияние инерции якоря на ремень генератора.

Шкив генератора с обгонной муфтой (*англ.* – OAP, overrunning alternator pulley) оснащён комбинацией из прецизионных роликоподшипников и подпружиненных игольчатых подшипников, что обеспечивает надёжную работу в режиме свободного хода и в режиме блокировки.

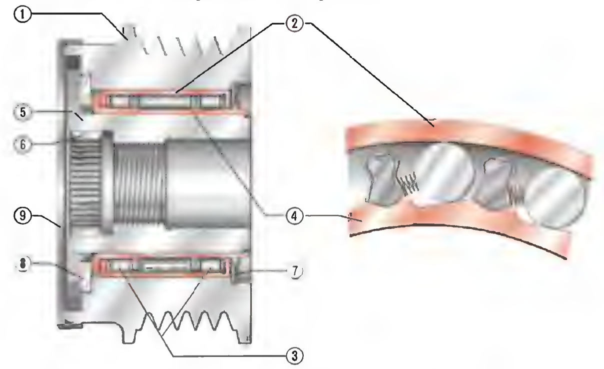


Рис. 3.33. Обгонная муфта шкива генератора:
1 – ремённый шкив; 2 – наружная обойма обгонной муфты; 3 – интегрированный радиальный роликовый подшипник поддержки; 4 – внутренняя втулка с профилем наклонных плоскостей; 5 – внутренняя втулка; 6 – шлицевой профиль; 7 – прокладка из эластомера; 8 – контактная пластина с сальником; 9 – пластиковая крышка

Разобщающая муфта генератора (*англ.* – OAD, overrunning alternator decoupler) оснащена встроенной торсионной пружиной и пакетом дисков сцепления.

Торсионная пружина служит для мягкого разгона приводимых агрегатов, а пакет дисков сцепления обеспечивает функцию расцепления.



Рис. 3.34. Устройство разобщающей муфты шкива генератора

§ 3.5. Электрические схемы генераторных установок

Электрическая схема генератора представляет собой последовательное/параллельное соединение его элементов с указанием обозначения выводов. На рис. 3.35 приведена схема генератора при соединении фаз статора звездой.

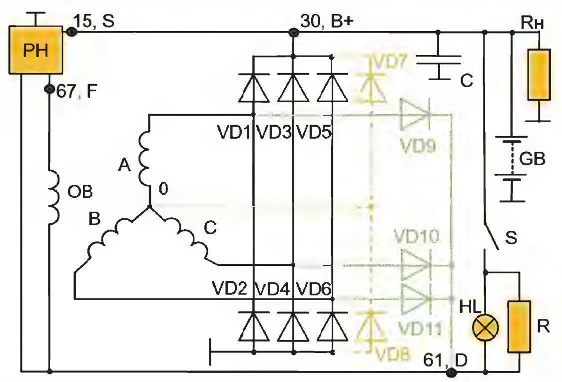


Рис. 3.35. Электрическая схема генератора при соединении обмоток звездой

Основными элементами электрической схемы являются:

- VD1 – VD6 – основной выпрямитель, предназначенный для преобразования переменного тока в ток одного направления;
- VD7 – VD8 – диоды повышения мощности, служащие для выпрямления третьей гармоники переменного напряжения;
- VD9 – VD11 – дополнительный выпрямитель, препятствующий разряду аккумуляторной батареи при включённом зажигании и неработающем двигателе внутреннего сгорания.

Однополупериодное выпрямление

Диод выпрямителя позволяет электрическому току проходить только в одном направлении, в противоположном направлении он блокируется. Вследствие этого подавляются негативные полуволны индуцированного напряжения, и пропускаются только положительные полуволны – таким образом возникает недостающее постоянное напряжение (рис. 3.36, *a*).

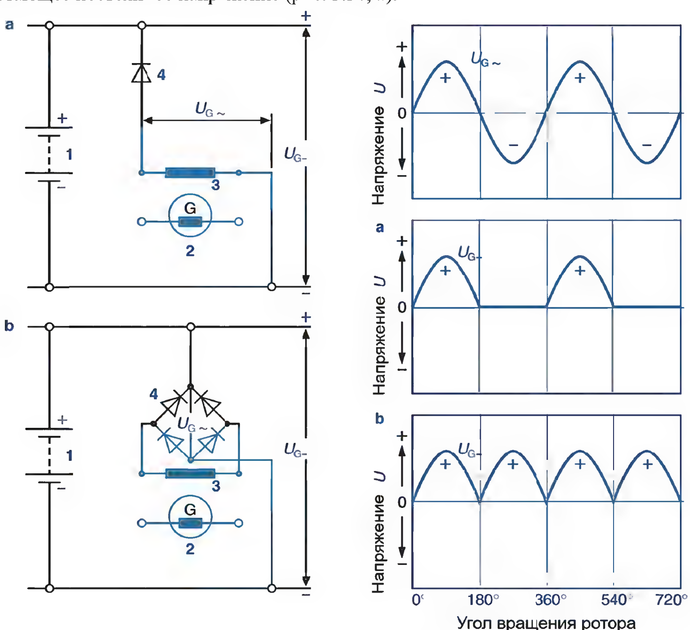


Рис. 3.36. Схемы выпрямления:
a – однополупериодное выпрямление, b – двухполупериодное выпрямление;
U_G – переменное напряжение перед диодами; U_Q – пульсирующее напряжение после диодов;
1 – батарея 2 – обмотка возбуждения (G); 3 – обмотка статора; 4 – выпрямитель

Двухполупериодное выпрямление

Для использования как положительных, так и отрицательных полуволн для производства тока, выполняется двухполупериодное выпрямление (рис. 3.36, *b*). Оно обозначается как полное или двухстороннее выпрямление.

С помощью диодов с противоположными полюсами на каждом из двух подключений статора *3* переменный ток имеет в распоряжении проводящий диод как во время положительных, так и во время отрицательных полуволн. Мостовая

цепь с четырьмя диодами выпрямляет переменное напряжение в пульсирующее постоянное напряжение (без пробелов).

Выпрямление трёхфазного переменного напряжения

Переменное напряжение, создаваемое в трёх обмотках трёхфазного генератора (рис. 3.37, *a*), выпрямляется посредством шести диодов в трёхфазной мостовой цепи. К каждой фазе подсоединены два силовых диода, один диод к положительной стороне (положительный диод к клемме B+) и один диод к отрицательной стороне (отрицательный диод к клемме B−). Положительные полуволны пропускаются диодами на положительной стороне, отрицательные полуволны – на отрицательной стороне (рис. 3.37, *b*).

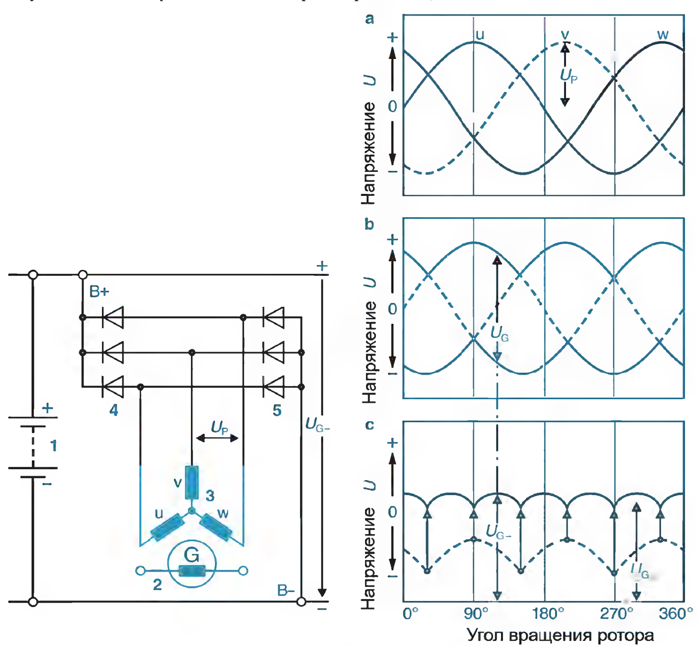


Рис. 3.37. Трёхфазная мостовая цепь:
a – трёхфазное переменное напряжение; b – напряжение генератора, образованное посредством огибающих положительных и отрицательных полуволн; c – выпрямленное напряжение генератора; U_P *– фазное напряжение;* U_G *– напряжение на выпрямителе (минус не на массе);* U_{G-} *– постоянное напряжение генератора (минус на массе);* $U_{G\,eff}$ *– эффективное значение постоянного напряжения; 1 – батарея; 2 – обмотка возбуждения; 3 – обмотка статора; 4 – положительные диоды; 5 – отрицательные диоды*

Двухполупериодное выпрямление трёх фаз с помощью так называемой мостовой цепи B6 способствует суммированию положительных и отрицательных огибающих данных полуволн в выпрямленное, слегка волнистое напряжение генератора (рис. 3.37, *c*).

Постоянный ток, который направляет генератор при электрической нагрузке через клеммы B+ и B− в бортовую сеть, не ровный, а слегка волнистый. Такая волнистость далее сглаживается с помощью батареи, расположенной параллельно генератору, и при необходимости конденсаторами, установленными в бортовой сети.

Прекращение обратного тока

Диоды выпрямителя в генераторе служат не только для выпрямления напряжения генератора и напряжения возбуждения, но и предотвращают разрядку батареи через трёхфазную обмотку в статоре.

Если двигатель не работает или работает с небольшой частотой вращения (например, стартовой частотой вращения), когда генератор сам ещё не возбуждён, ток батареи течёт без диодов через обмотку статора. Диоды поляризованы относительно напряжения батареи в обратном направлении, таким образом, блокируется ток разряда батареи. Ток может направляться только от генератора к батарее.

Цепь предварительного возбуждения для генераторов с диодами питания обмотки возбуждения

Прежде чем самовозбуждение генератора можно будет использовать, в статоре необходимо индуцировать напряжение, которое может привести в действие ток возбуждения. Ротор даже в обесточенном состоянии обладает незначительным остаточным магнетизмом (остаточная магнитная индукция), которого недостаточно для работы в режиме самовозбуждения. Поэтому генератор должен быть возбуждён от постороннего источника к началу работы. Это выполняется через цепь предварительного возбуждения, которая питается от батареи.

После включения выключателя зажигания или выключателя приборов и стартера (рис. 3.38, поз. *4*) ток батареи I_B направляется через контрольную лампу генератора *3*, через обмотку возбуждения в роторе *1d* и через регулятор *2* к земле. Данный ток батареи способствует в роторе возбуждению генератора.

Самовозбуждение используется тогда, когда напряжение генератора больше, чем падение напряжения на обоих диодах, находящихся в цепи возбудителя (как на одном проводящем диоде питания обмотки возбуждения, так и на силовом отрицательном диоде: 2 · 0,7 В = 1,4 В). Частота вращения, при которой используется самовозбуждение, называется частотой вращения для приведения в действие. Она выше частоты вращения при начале отдачи тока.

В качестве частоты вращения при начале отдачи тока обозначается частота вращения, при которой индуцированное напряжение самовозбуждённого генератора так же велико, как и напряжение бортовой сети, и, соответственно, ток генератора равен нулю. Так как сигнализатор зарядки увеличивает сопротивление

в цепи предварительного возбудителя по отношению к сопротивлению в цепи возбудителя (при самовозбуждении), во время работы в режиме самовозбуждения течёт увеличенный ток возбуждения, который вызывает высокое индуцированное напряжение в статоре генератора (при одинаковой частоте вращения). Мощность сигнализатора зарядки влияет, как следствие, на частоту вращения для приведения в действие. Стандартная мощность для сигнализатора зарядки генератора равна 2 Вт для 12-вольтных приборов и 3 Вт для 24-вольтных приборов.

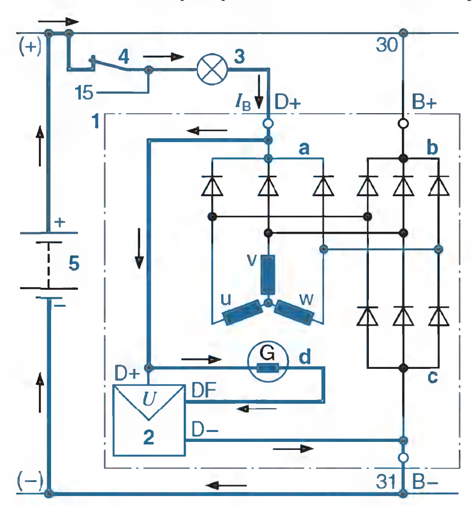


Рис. 3.38. Цепь предварительного возбуждения:
1 – генератор; 1a – диоды питания обмотки возбуждения; 1b – диоды на положительной пластине; 1c – диоды на отрицательной пластине; 1d – обмотка возбуждения; 2 – регулятор; 3 – контрольная лампа генератора; 4 – выключатель зажигания; 5 – батарея

Предвозбуждение в генераторах с многофункциональным регулятором (генераторы без диодов питания обмотки возбуждения)

Когда многофункциональный регулятор получает через вывод L информацию «зажигание включено», он включает ток предвозбуждения с чётко фиксированной скважностью импульсов (приблизительно 20 %, «регулируемое предвозбуждение»). Как только ротор начинает вращаться, регулятор считывает сигналы напряжения на фазном выводе W, на основании частоты которого можно вывести частоту вращения генератора. При достижении частоты вращения при включении, настроенной в регуляторе, регулятор переключается на конечную ступень (скважность импульсов 100 %), таким образом, генератор начинает поставлять ток в бортовую сеть.

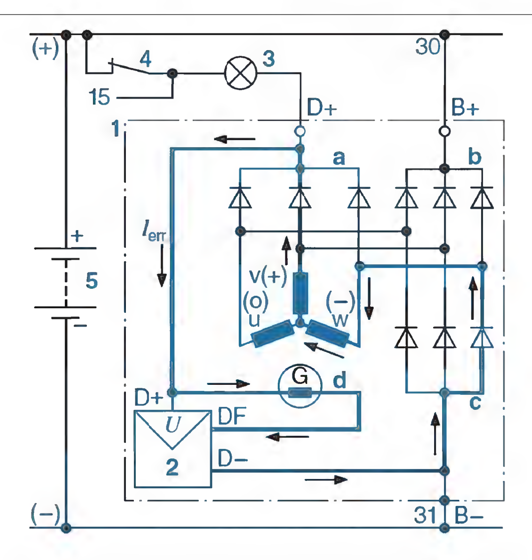


Рис. 3.39. Цепь возбуждения с диодами питания обмотки возбуждения

Цепь возбуждения

Ток возбуждения Ierr должен создавать магнитное поле в обмотке возбуждения ротора в течение всего периода эксплуатации генератора и индуцировать в обмотке статора требуемое напряжение генератора. Так как трёхфазные генераторы являются самовозбудимыми генераторами, ток возбуждения отводится из обмотки статора.

Генераторы с многофункциональным регулятором (без диодов питания обмотки возбуждения) получают ток возбуждения непосредственно от клеммы B+ (рис. 3.40). Ток возбуждения течёт через силовые положительные диоды через многофункциональный датчик, угольные щётки, контактные кольца и обмотку возбуждения к «массе» (B–).

Генераторы старой конструкции оснащены ещё тремя диодами питания обмотки возбуждения на клемме D+, которые образуют с отрицательными диодами на клемме B– мостовую цепь B6– для выпрямления тока возбуждения (рис. 3.39). Ток возбуждения течёт через диоды питания обмотки возбуждения, через угольные щётки и контактные кольца, через обмотку возбуждения к клемме DF регулятора, от клеммы D– регулятора к массе (B–).

От B– ток возбуждения течёт в обоих случаях через силовые отрицательные диоды обратно к обмотке статора.

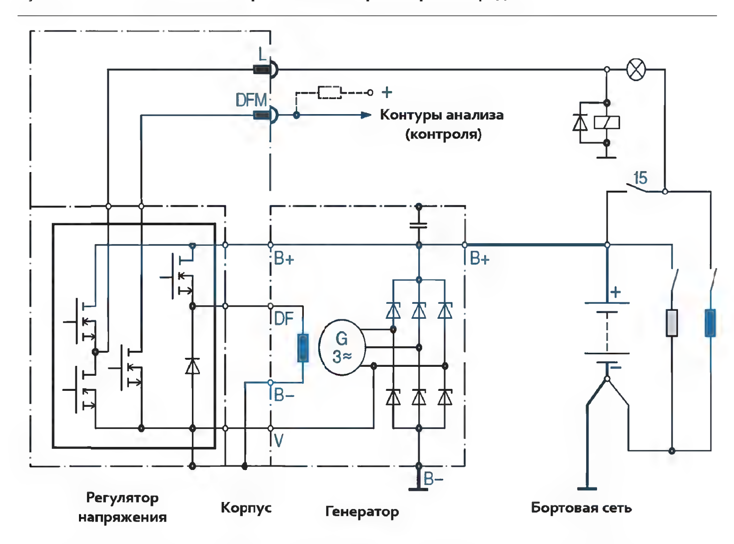


Рис. 3.40. Цепь возбуждения без диодов питания обмотки возбуждения для генераторов с многофункциональными регуляторами

Индикация неисправности

Если контрольная лампа генератора гаснет и при высокой частоте вращения, неисправность кроется в самом генераторе, регуляторе, проводке или клиновом ремне. При установке дополнительного сопротивления (только в генераторах с диодами питания обмотки возбуждения, рис. 3.41) достигается загорание контрольной лампы генератора также в случае прерывания цепи возбуждения.

Электрическая цепь генератора

Переменное напряжение, индуцированное в трёх фазах трёхфазного генератора, должно выпрямляться посредством мостовой цепи с силовыми диодами, и направляться затем к батарее и потребителям.

Ток генератора I_G течёт от трёх обмоток через силовые диоды к батарее и к потребителям бортовой сети. Ток генератора разделяется на зарядный ток батареи и ток потребителей.

Характеристики напряжения обмотки статора в зависимости от угла вращения ротора представлены на рис. 3.42 (здесь для ротора с шестью парами полюсов): при угле вращения 30° напряжение является положительным по отношению к нулевой точке на конце обмотки v, на w –отрицательным и на u – нулевым. Получаемая в результате этого токовая характеристика изображена

на рис. 3.36: ток течёт от конца обмотки v через положительные диоды к клемме генератора B+, через батарею или потребитель к земле (клемма генератора B−) и через отрицательные диоды к концу обмотки w. При угле вращения 45° ток течёт от концов обмотки v и w по такому же пути к концу обмотки u.

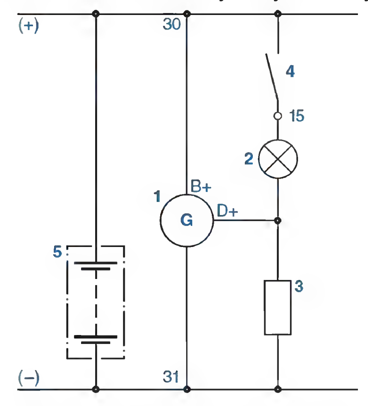


Рис. 3.41. Схема индикации неисправности:
1 – генератор; 2 – контрольная лампа генератора; 3 – сопротивление; 4 – выключатель зажигания; 5 – батарея

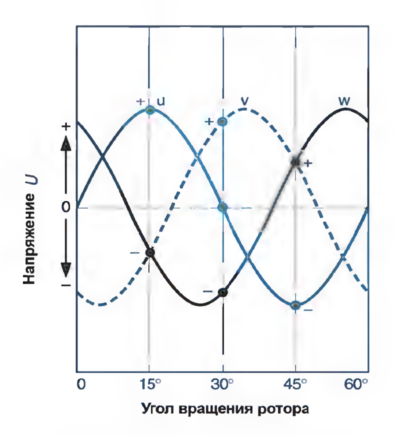


Рис. 3.42. Напряжение в обмотке статора

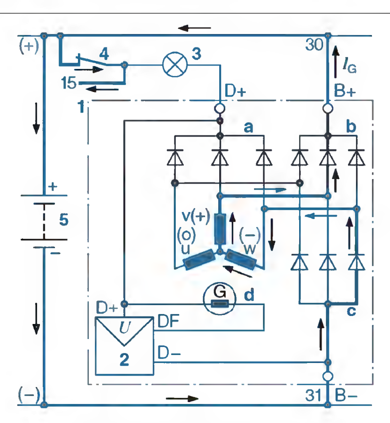


Рис. 3.43. Электрическая цепь генератора

Параллельно включенные силовые диоды

В больших генераторах с номинальными токами свыше 180 А вследствие сильного нагрева могут повреждаться шесть силовых диодов трехфазной мостовой цепи. Поэтому в больших генераторах параллельно включаются два или более силовых диода на фазу (рис. 3.44, поз. *2*). Ток генератора распределяется на параллельно включенные диоды, поэтому соответствующий ослабленный ток протекает через отдельные диоды.

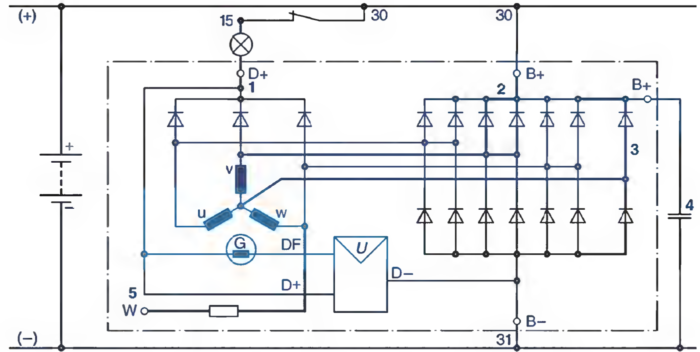


Рис. 3.44. Электрическая схема генератора с особыми вариантами подключения:
1 – диоды питания обмотки возбуждения; 2 – параллельно включенные силовые диоды;
3 – дополнительные диоды в нулевой точке;
4 – дополнительный конденсатор; 5 – клемма W

Дополнительные диоды в нулевой точке

Принцип работы плеча выпрямителя, содержащего дополнительные диоды (рис. 3.44, поз. *3*), состоит в следующем. Если бы фазные напряжения изменялись точно по синусоиде, указанные диоды вообще не участвовали бы в процессе преобразования переменного тока в постоянный. Однако в реальных генераторах форма фазных напряжений отличается от синусоиды. Она представляет собой сумму синусоид, которые называются гармоническими составляющими, или гармониками: первой, частота которой совпадает с частотой фазного напряжения, и высших, главным образом третьей, частота которой в 3 раза выше первой.

Реальная форма фазного напряжения в виде суммы первой и третьей гармоник представлена на рис. 3.45. В линейном напряжении, которое подводится к выпрямителю и выпрямляется, третья гармоника отсутствует. Это объясняется тем, что третьи гармоники всех фазных напряжений совпадают по фазе и при этом взаимно уравновешивают друг друга в линейном напряжении. Следовательно, мощность, развиваемая третьей гармоникой фазного напряжения, не используется. Для того чтобы её использовать, добавляют дополнительные диоды, присоединяемые к нулевой точке обмотки фаз: они выпрямляют только напряжение третьей гармоники. Применение дополнительных диодов на 5–15 % увеличивает мощность генератора при частоте вращения ротора более 3000 мин$^{-1}$.

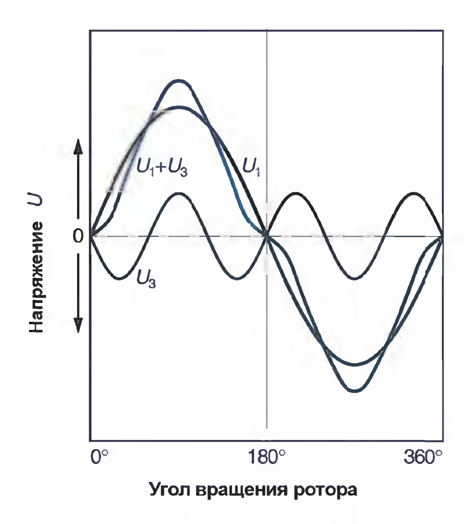


Рис. 3.45. Напряжение с третьей высшей гармоникой

Клемма W

Клемма W обеспечивает пульсирующее постоянное напряжение (однополупериодное выпрямленное переменное напряжение), которое может использоваться для определения частоты вращения дизельного двигателя. Частота зависит от количества пар полюсов и частоты вращения генератора.

Способы подавления помех

Генератор, а также другие электрические потребители транспортного средства вследствие своих электромагнитных полей могут создавать помехи для других электрических и электронных приборов.

«Ближнее» подавление радиопомех генераторов требуется тогда, когда в непосредственной близости или в самом транспортном средстве работает рация, автомобильный телефон, автомобильное радио и т. д. Поэтому генераторы, как правило, оснащены помехоподавляющим конденсатором. В классических генераторах с несущими крышками помехоподавляющий конденсатор может быть установлен на внешней стороне крышки со стороны контактных колец. В компактных генераторах он устанавливается уже в выпрямителе. Контактный регулятор старого образца объединяется с фильтром радиопомех или заменяется на регулятор, защищённый от радиопомех.

Помимо диодов в электрическую схему также входит HL – контрольная лампа, выполняющая диагностические функции. При включении выключателя зажигания S ток от аккумуляторной батареи GB протекает через контрольную лампу и обмотку возбуждения генератора, обеспечивая его возбуждение. Лампа горит, свидетельствуя об исправности генератора. После запуска ДВС напряжение генератора возрастает (в том числе и на выводе D+), при этом контрольная лампа гаснет, поскольку разность потенциалов на её выводах становится близкой к нулю. Это означает, что генератор исправен и вырабатывает напряжение. Параллельно контрольной лампе включается резистор R, обеспечивающий возбуждение генератора при перегорании контрольной лампы.

На автомобилях с дизельными двигателями может применяться генераторная установка на два уровня напряжения: 14 и 28 В. Второй уровень, 28 В, используется для зарядки аккумуляторной батареи, работающей при пуске ДВС. Для получения второго уровня используется электронный удвоитель напряжения или трансформаторно-выпрямительный блок (ТВБ), как это показано на рис. 3.46. В системе на два уровня напряжения регулятор стабилизирует только первый уровень напряжения, 14 В. Второй уровень возникает посредством трансформации и последующего выпрямления ТВБ переменного тока генератора. Коэффициент трансформации трансформатора ТВБ близок к единице.

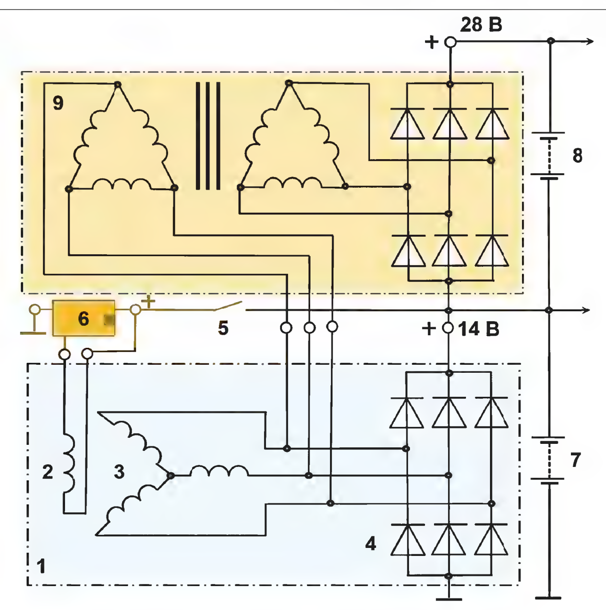


Рис. 3.46. Схема электроснабжения на два уровня напряжения:
1 – генератор; 2 – обмотка ротора; 3 – обмотка статора; 4 – выпрямитель;
5 – выключатель приборов и стартера; 6 – регулятор напряжения;
7 – основная батарея; 8 – пусковая батарея;
9 – трансформаторно-выпрямительный блок

§ 3.6. Основные параметры и характеристики генераторов

Параметры генераторных установок:

1. Номинальное напряжение (14 В – легковые автомобили, грузовые автомобили и автобусы с бензиновыми двигателями, 28 В – грузовые автомобили и автобусы с дизельными двигателями).
2. Номинальная сила тока (80–170 А – легковые и грузовые автомобили, 100–250 А – автобусы).
3. Начальная частота вращения (800–1200 мин$^{-1}$). Это частота вращения, при которой генератор начинает вырабатывать номинальное напряжение.
4. Мощность генератора (от 1000 до 4500 Вт) получается путём умножения номинальной силы тока на номинальное напряжение.

5. Номинальная частота вращения. При 6000 мин$^{-1}$ генератор отдаёт номинальную мощность.

   Все современные автомобильные генераторы обладают свойством самоограничения максимальной силы тока. В значительном диапазоне частот вращения ротора сила тока возрастает медленно, а при максимальной частоте вращения ротора не превышает заданного максимального значения. С увеличением частоты вращения ротора генератора, а следовательно, с увеличением частоты индуктируемого в обмотке статора тока увеличивается индуктивное сопротивление обмотки, поэтому сила тока увеличивается медленнее, асимптотически стремясь к некоторому предельному значению.
6. Регулируемое напряжение (14,3–14,8 В; 28,6–30,5 В). Напряжение, поддерживаемое в бортовой сети регулятором напряжения.
7. Коэффициент полезного действия. Максимальный коэффициент полезного действия современного генератора с воздушным охлаждением составляет при полной нагрузке около 70 %. Во время эксплуатации автомобиля генератор работает чаще всего в диапазоне частичных нагрузок, в котором коэффициент полезного действия достигает 75 %.
8. Коэффициент термокомпенсации (минус 10 ±2 мВ/°С) – показывает зависимость напряжения от температуры воздуха в подкапотном пространстве. Для обеспечения заряда аккумуляторной батареи в холодное время года напряжение генератора необходимо увеличить (см. рис. 3.47). В жаркое время температура в подкапотном пространстве может достигать 100 °С и более, поэтому напряжение генератора следует снизить для исключения перезаряда аккумуляторной батареи и выкипания воды из электролита.

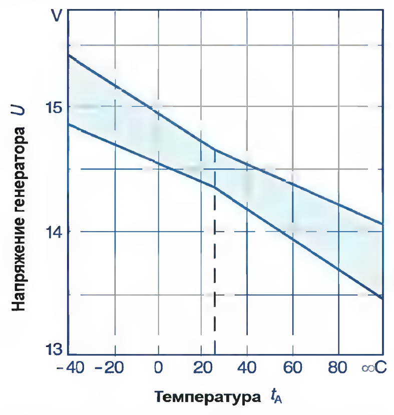


Рис. 3.47. Термокомпенсация напряжения генератора

К основным характеристикам автомобильного генератора относят характеристику холостого хода, скоростную регулировочную, внешнюю и токоскоростную.

Характеристикой холостого хода генератора называют зависимость выпрямленного или фазного напряжения генератора без нагрузки при постоянной частоте вращения ротора от силы тока возбуждения $I_в$ или магнитодвижущей силы (МДС) обмотки возбуждения $F_в$ (рис. 3.48).

Скоростная регулировочная характеристика генератора – это зависимость тока возбуждения $I_в$ от частоты вращения *n* ротора. Характеристика снимается для постоянного значения тока нагрузки $I_н$ (рис. 3.49).

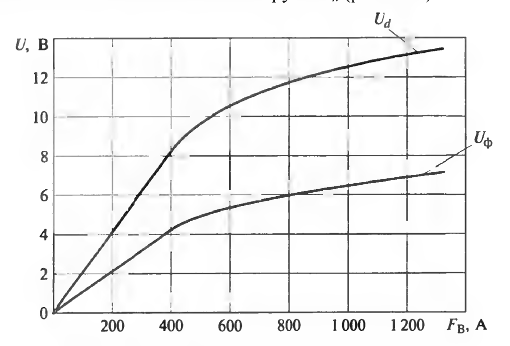


Рис. 3.48. Характеристики холостого хода генератора

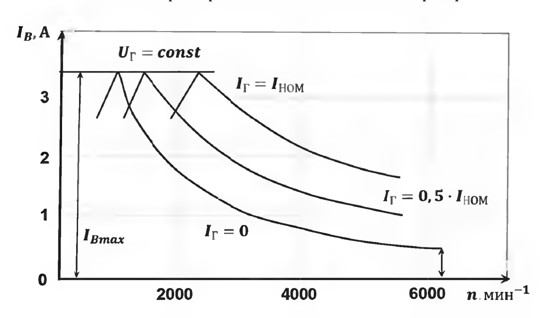


Рис. 3.49. Скоростные регулировочные характеристики генератора

Внешняя характеристика – это зависимость напряжения генератора от тока нагрузки $U_г = f(I_г)$ при постоянном скоростном режиме *(n = const)*. Характеристика может определяться при самовозбуждении и независимом возбуждении (рис. 3.50).

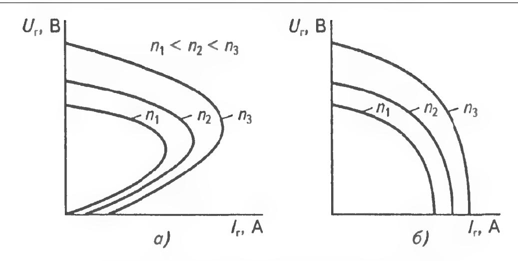
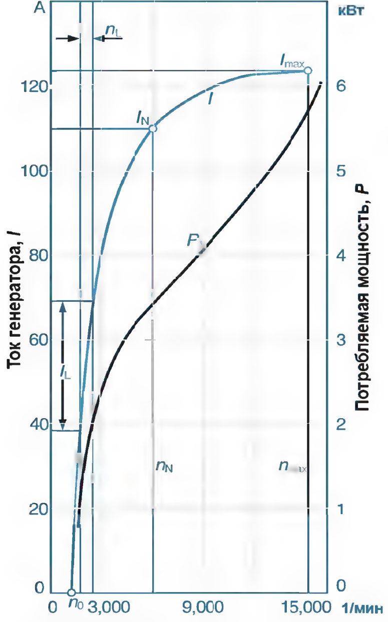


Рис. 3.50. Внешние характеристики генератора:
а – с самовозбуждением; б – с независимым возбуждением



Токоскоростная характеристика – это зависимость тока генератора $I_г$, подаваемого на питание нагрузки, от частоты вращения n ротора. Характеристика снимается при условии, что весь ток генератора идёт на питание нагрузки и напряжение является постоянным (см. рис. 3.51).

Характерными точками токоскоростной характеристики являются:

n_0 – начальная частота вращения (начало отдачи);

n_L, I_L – частота вращения и ток при холостом ходе двигателя. В генераторах классической конструкции $n_L = 1500$ мин$^{-1}$, в компактных генераторах $n_L = 1800$ мин$^{-1}$;

n_N, I_N – номинальные значения частоты вращения и силы тока;

n_{max}, I_{max} – максимальные значения частоты вращения и силы тока.

Максимально допустимая частота вращения генератора в первую очередь ограничивается типом его конструкции. Максимальная частота вращения в компактных генераторах находится в диапазоне от 18 000 до 22 000 мин$^{-1}$, в генераторах классической конструкции – в диапазоне от 15 000 до 18 000 мин$^{-1}$, а в генераторах для грузовых автомобилей – в диапазоне между 8000 и 15 000 мин$^{-1}$.

Потери неизбежны для всех процессов, при которых механическая энергия преобразуется в электрическую. Распределение потерь в генераторе с клювообразными полюсами показано на рис. 3.52.

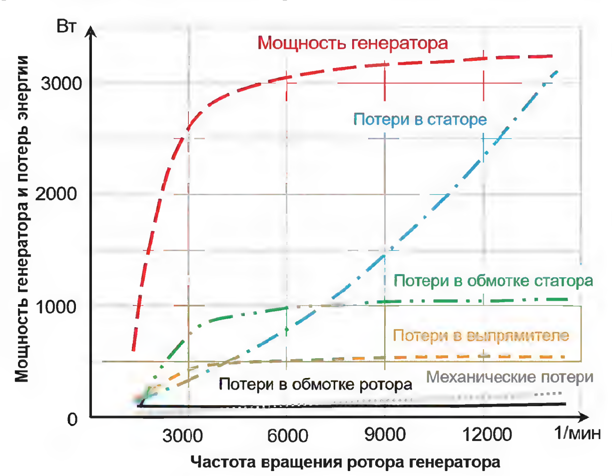


Рис. 3.52. Распределение потерь генератора, рассчитанного на ток 220 А:
1 – выходная мощность генератора; 2 – потери в железе, 3 – потери в меди статора, 4 – потери в выпрямителе; 5 – потери на трение; 6 – потери в меди обмотки возбуждения (ротор)

Потери в генераторе с клювообразными полюсами

Омические потери в обмотках статора и обмотке ротора называются потерями в меди. Они пропорциональны квадрату тока. Потери в железе – результат гистерезиса и вихревых токов, наводимых переменными магнитными полями в железе статора и ротора.

Потери вихревых токов на поверхности клювообразных полюсов вызваны колебаниями магнитного потока из-за наличия пазов в статоре.

Потери в выпрямителе вызываются падением напряжения на диодах. Их можно уменьшить и, соответственно, поднять КПД путём использования полупроводников с меньшим падением напряжения – например высокоэффективных диодов (HED).

Механические потери включают трение, возникающее в роликовых подшипниках и контактных кольцах, аэродинамическое трение в вентиляторе. Имеются потери мощности (необходимой для приведения в действие самого вентилятора), которые увеличиваются с повышением частоты вращения. К ним относятся и аэродинамические потери, вызванные вентилятором и клювообразными полюсами.

§ 3.7. Принцип регулирования напряжения бортовой сети

При постоянном токе возбуждения напряжение генератора зависит от частоты вращения и нагрузки генератора. Задачей регулирования напряжения является поддержание напряжения генератора – и, как следствие, напряжения бортовой сети – постоянным во всем диапазоне частоты вращения двигателя транспортного средства независимо от электрической нагрузки. Для этого регулятор напряжения регулирует величину тока возбуждения и, соответственно, величину магнитного поля в роторе в зависимости от напряжения, производимого генератором.

Регулятор удерживает напряжение бортовой сети постоянным и предотвращает перезарядку или разрядку батареи во время работы транспортного средства. Бортовые сети транспортных средств с напряжением батареи 12 В регулируются в поле допуска 14 В, а бортовые сети с 24 В напряжением батареи – в поле допуска 28 В. Пока напряжение, производимое генератором, ниже регулируемого напряжения, регулятор напряжения не включается, но включён выходной каскад генератора (скважность импульсов 100 %).

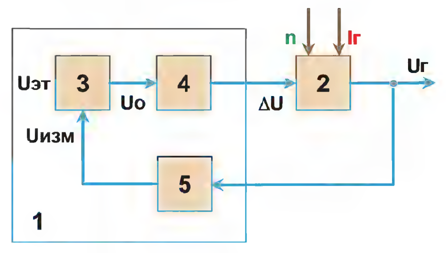


Рис. 3.53. Блок-схема регулятора напряжения:
1 – регулятор напряжения, 2 – генератор,
3 – элемент сравнения, 4 – регулирующий элемент,
5 – измерительный элемент

Измерительный элемент воспринимает напряжение генератора Uг и преобразует его в сигнал Uизм, который в элементе сравнения сопоставляется с эталонным значением Uэт.

Если величина Uизм отличается от эталонной величины Uэт, на выходе элемента сравнения появляется сигнал Uo, который активизирует регулирующий элемент, изменяющий ток в обмотке возбуждения так, чтобы напряжение вернулось в заданные пределы.

На рис. 3.54 приведены зависимости тока возбуждения и напряжения генератора при изменении частоты вращения ротора. Из рисунка следует, что постоянство напряжения генератора достигается за счёт изменения времени включённого состояния обмотки возбуждения: при минимальных оборотах обмотка большую часть времени включена (восходящая часть кривой тока). при средних – время включённого и выключенного состояния совпадает, и наконец, на больших оборотах большую часть времени обмотка возбуждения выключена, что и приводит к уменьшению среднего значения силы тока.

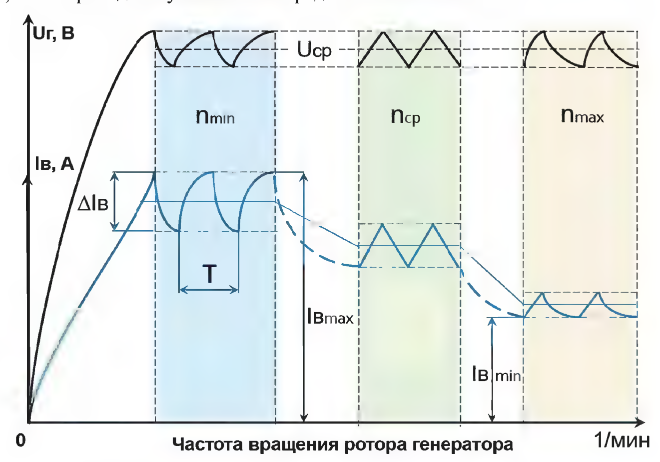


Рис. 3.54. Зависимость напряжения генератора и тока возбуждения от частоты вращения ротора

При переключении регулятора на «выключено» происходит скачок напряжения при прерывании тока возбуждения вследствие самоиндукции в обмотке возбуждения. Для предотвращения возникновения таких скачков напряжения к регулятору параллельно к обмотке возбуждения подключается гасящий диод. Он принимает ток возбуждения в момент прерывания и способствует прекращению. или гашению. тока.

Трёхфазные генераторы на сегодняшний день производители оснащают электронными регуляторами напряжения. Электромагнитный регулятор, напротив, используется лишь как запасная часть.

Электромагнитный регулятор напряжения

Контактный регулятор, используемый для трёхфазного генератора, является реле-регулятором (рис. 3.55 и 3.56), то есть регулятором с реле напряжения, который состоит из электромагнита *3*, якоря и контакта регулятора *4*. Через электромагнит проходит ток генератора, он управляет якорем регулятора, который со своей стороны замыкает или прерывает цепь возбуждения с помощью контакта регулятора.

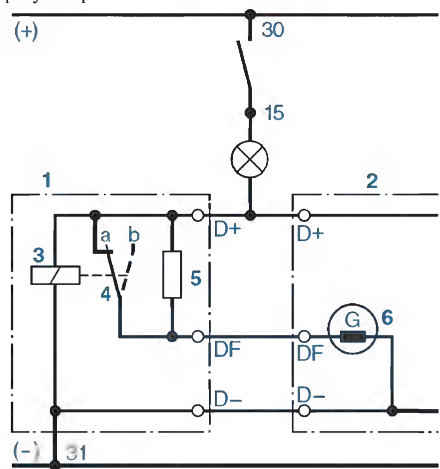


Рис. 3.55. Схема одноступенчатого реле-регулятора:
1 – регулятор; 2 – генератор; 3 – электромагнит; 4 – контакт регулятора; 5 – подстроечный резистор; 6 – обмотка возбуждения (G)

Регулирование напряжения выполняется с помощью одноступенчатого реле-регулятора (рис. 3.55) следующим образом: на якорь регулятора с одной стороны воздействует магнитная сила электромагнита, зависящая от тока генератора, а с другой стороны – сила натяжения регулирующей пружины. Если напряжение генератора превышает заданную величину, магнитная сила тянет якорь и открывает контакт (положение включения, *b*).

Вследствие этого возникает сопротивление в цепи возбуждения, которое заставляет ток возбуждения уменьшаться и, как следствие, вызывает уменьшение напряжения генератора. Если напряжение генератора не дотягивает до заданной величины, магнитная сила вновь уменьшается. Сила натяжения пружины является преобладающей и замыкает контакт (положение включения, *a*). Данный процесс повторяется непрерывно.

Двухступенчатый реле-регулятор работает с двумя парами контактов, при этом возможны три положения включения (рис. 3.56).

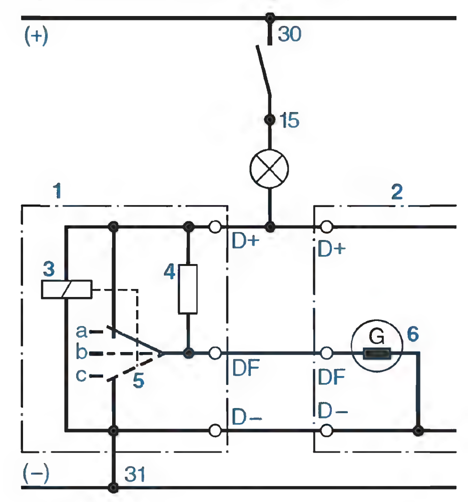


Рис. 3.56. Схема двухступенчатого реле-регулятора:
1 – регулятор; 2 – генератор; 3 – электромагнит; 4 – контакт регулятора; 5 – подстроечный резистор; 6 – обмотка возбуждения (G)

В положении включения *a* подстроечный резистор замыкается и подаётся высокий ток возбуждения. В положении включения *b* подстроечный резистор и обмотка возбуждения включаются последовательно и таким образом уменьшают ток возбуждения. В положении включения *c* обмотка возбуждения замыкается и ток возбуждения быстро уменьшается до нуля (постоянная времени не зависит от индуктивности и сопротивления обмотки возбуждения).

Электронный регулятор напряжения

Принцип действия электронного регулятора одинаков в разных типах исполнения.

Делитель напряжения (сопротивления R1, R2 и R3 на рис. 3.57) считывает фактическое значение напряжения генератора между клеммами D+ и D–. Параллельно к R3 подключён стабилитрон ZD в качестве задающего устройства регулятора, который постоянно находится под частичным напряжением, пропорциональным напряжению генератора.

Пока фактическое значение напряжения генератора меньше заданного значения, регулятор находится в положении «включено» (рис. 3.57).

Пробивное напряжение стабилитрона Z пока ещё не достигнуто, то есть через ответвление со стабилитроном Z к основанию транзистора T1 ток не течёт. T1 заблокирован. При заблокированном транзисторе T1 ток диода питания обмотки напряжения течёт через клемму D+ и сопротивление R6 к основанию транзистора T2 и включает T2. Включённый транзистор T2 соединяет клемму DF с основой T3. Таким образом, с T2 проводящим становится и T3. Транзисторы T2 и T3 выполнены в качестве каскада Дарлингтона и образуют каскад усиления мощности регулятора. Через T3 и обмотку возбуждения течёт ток возбуждения *Ierr*. который возрастает во время включения и способствует увеличению напряжения генератора U_G. Одновременно увеличивается напряжение на задающем устройстве.

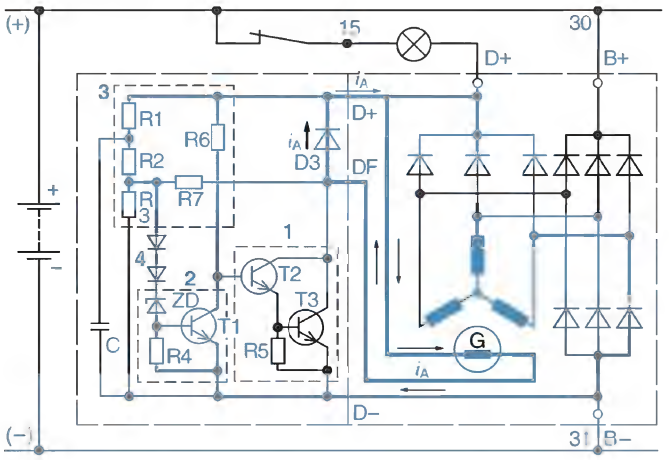


Рис. 3.57. Схема бесконтактного регулятора напряжения:
а – ток возбуждения выключен с помощью T3, b – ток возбуждения включён с помощью T3; 1 – каскад усиления мощности; 2 – задающий каскад; 3 – делитель напряжения; 4 – диоды температурной компенсации; C – конденсатор для сглаживания напряжения; D3 – гасящий диод

Если фактическое значение напряжения генератора превышает заданную величину, регулятор переключается в положение «выключено» (рис. 3.58).

Стабилитрон Z становится проводящим при достижении пробивного напряжения. Ток течёт от D+ через сопротивления R1, R2 в ответвление тока с диодом Z к основанию транзистора T1. T1 становится проводящим. Как следствие этого, напряжение на основании T2 в отношении эмиттера практически равно нулю, и оба транзистора T2 и T3 блокируются как каскады усиления мощности. Цепь возбуждения прерывается, возбуждение затухает, а напряжение

генератора уменьшается. Как только напряжение генератора опускается ниже заданной величины и стабилитрон Z блокируется, каскад усиления мощности вновь включает ток возбуждения.

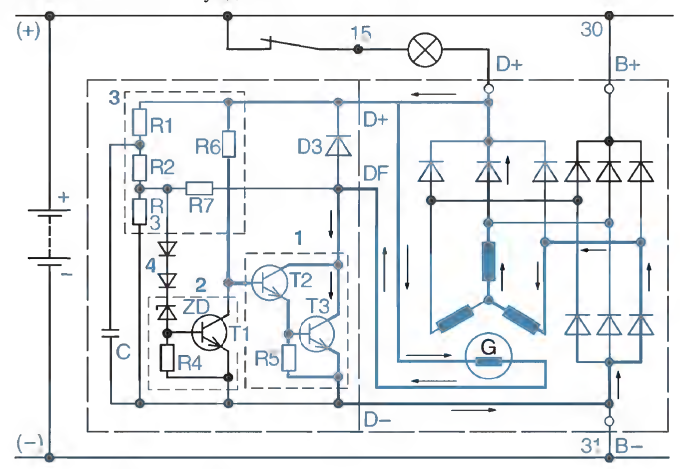


Рис. 3.58. Схема бесконтактного регулятора напряжения (продолжение)

При прерывании тока возбуждения вследствие самоиндукции в обмотке возбуждения возникает скачок напряжения, который может повредить транзисторы Т2 и Т3. Для предотвращения этого параллельно к обмотке возбуждения подключается гасящий диод D3. Гасящий диод принимает на себя ток возбуждения в момент прерывания и предотвращает возникновение скачка напряжения.

В то время как обмотка возбуждения непостоянна по отношению к напряжению генератора или замкнута через гасящий диод, цикл регулировки, а именно включение и выключение магнитного потока, повторяется периодически. Скважность импульсов зависит от частоты вращения генератора и от нагрузки.

Конденсатор С сглаживает пульсирующее постоянное напряжение генератора.

3.7.1. Конструктивные исполнения регуляторов напряжения

За время, прошедшее с появления на автомобилях генераторов переменного тока (70-е годы прошлого века), регуляторы напряжения претерпели значительные изменения, что обусловлено бурным развитием полупроводниковой техники. В таблице 3.1 приведены сведения о регуляторах напряжения различных поколений, в то или иное время применявшихся на отечественных автомобилях.

Таблица 3.1

Поколения регуляторов напряжения

Поколение регулятора	Годы применения	Изображение	Достоинства	Недостатки
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1 – контактный (вибрационный)	1977–1984		Ремонтопригодность; возможность ручной регулировки уровня напряжения	Большие габариты и масса; низкая надёжность
2 – контактно-транзисторный	1980–1990		Ремонтопригодность; возможность ручной регулировки уровня напряжения; увеличенный срок службы	Очень большие габариты и масса (≈1 кг); недостаточная надёжность
3 – бесконтактный на гибридных схемах	1988–1993		Ремонтопригодность; увеличенный срок службы; уменьшены габариты и масса	Невозможна ручная регулировка уровня напряжения
4 – бесконтактный на интегральных схемах	1992–2000		Большой срок службы; малые габариты и масса; встроен в генератор	Невозможна ручная регулировка уровня напряжения; не ремонтопригоден
5 – бесконтактный на микросхеме	1999 – наши дни		Большой срок службы; малые габариты и масса; встроен в генератор; автоматическая термокомпенсация напряжения	Невозможна ручная регулировка уровня напряжения; не ремонтопригоден
5 плюс – бесконтактный многофункциональный	2009 – наши дни		Большой срок службы; малые габариты и масса; дополнительные функции; встроенный конденсатор	Не ремонтопригоден; сложность диагностики

На современных отечественных автомобилях применяются 5-е и 5-е «плюс» поколения регуляторов напряжения, различающиеся в перечне выполняемых функций.

Многофункциональные регуляторы напряжения помимо поддержания напряжения бортовой сети и его терморегулирования выполняют следующие функции:

– полное отключение обмотки возбуждения (в схеме отсутствует дополнительный выпрямитель);
– индикацию повышенного и пониженного напряжения генератора (за счёт мигания контрольной лампы);
– плавное нарастание тока нагрузки (что снижает динамические нагрузки);
– отключение генератора при высокой нагрузке на двигатель (улучшение разгонной динамики, повышение топливной экономичности);
– защита от повышенных температур посредством регулирования тока возбуждения при превышении граничной температуры;
– отключение потребителей с низким приоритетом (сохранение заряда аккумуляторной батареи, повышение топливной экономичности);
– встроенная диагностика неисправностей генератора для информирования работников сервисных предприятий о необходимости замены генератора).

3.7.2. Защита от перенапряжений

Незначительное внутреннее сопротивление стартерной батареи, как правило, гасит все скачки напряжений, возникающие в бортовой сети.

В качестве предупредительной меры в отношении нарушений в бортовой сети при перевозке опасных грузов часто является эффективной защита от перенапряжений.

Перенапряжения в бортовой сети могут возникнуть в следующих ситуациях:

– выход из строя регулятора;
– неисправная или отсоединённая батарея,
– отключение потребителей с преимущественно индуктивной нагрузкой;
– плохие контакты.

Перенапряжениями являются скачки напряжений, которые длятся недолго, лишь несколько миллисекунд. Перенапряжения также возникают, когда при работающем двигателе повреждена проводка между генератором и батареей (например, при пуске от внешней батареи) и выключается сильный потребитель. Поэтому генератор в транспортном средстве при нормальной эксплуатации не должен работать без подключённой батареи.

В определённых ситуациях возможна кратковременная и аварийная работа без батареи. К таким ситуациям относятся, например, следующие:

- перемещение без батареи на новом произведённом транспортном средстве от конвейера окончательной сборки к месту стоянки;
- погрузка на поезд или корабль без батареи (батарея устанавливается сразу перед поставкой транспортного средства заказчику);
- работы по техническому обслуживанию и т. д.

Работы без батареи нужно всегда избегать и для тягачей и тракторов.

Защиту от перенапряжений можно реализовать с помощью различных мер.

Защита с помощью стабилитронов (диодов Зенера)

Вместо силовых диодов выпрямителя могут использоваться стабилитроны. Они ограничивают возникающие богатые энергией скачки напряжений.

Стабилитроны предлагают центральную защиту от перенапряжений для потребителей, сохраняющих работоспособность при изменении или колебании подводимого напряжения в бортовой сети. Напряжение выпрямителя, оснащённого стабилитронами, составляет в генераторе с напряжением 14 В – 25–30 В, в генераторе с напряжением 28 В – 50–55 В. Трёхфазные генераторы с компактной конструкцией оснащены главным образом стабилитронами.

Генератор и регулятор в исполнении, выдерживающем перенапряжения

В данных генераторах устанавливаются структурные элементы полупроводника с высокой диэлектрической прочностью. Диэлектрическая прочность полупроводника составляет при напряжении генератора 14 В не менее 200 В, а при напряжении генератора 28 В – 350 В.

Дополнительно между клеммой генератора В+ и массой подключается конденсатор, который одновременно служит для «ближнего» подавления радиопомех, создаваемых транспортным средством.

Генераторы и регуляторы, выдерживающие перенапряжения, обладают только функцией собственной защиты. Они не защищают дистанционно другие потребители и элементы конструкции, сохраняющие работоспособность при изменении или колебании подводимого напряжения в бортовой сети.

Неавтоматическое устройство защиты от перенапряжений

Данное устройство защиты от перенапряжений подключается непосредственно к клеммам D+ и D– генераторов автобусов или грузовых автомобилей (рис. 3.59).

Если на данных клеммах возникает скачок напряжения или перенапряжение, превышающее пороговое значение прибора (31 В), ток начинает проводить тиристор Th. Стабилитрон ZD действует в качестве задающего устройства. Сопротивления R1, R2 и конденсатор С определяют необходимое запаздывание срабатывания. В течение миллисекунд генератор и регулятор замыкаются через клеммы D+ и D–. Тиристор принимает на себя ток короткого замыкания. От тока батареи загорается контрольная лампа генератора, водитель предупреждён. Тиристор вновь блокирует, когда прекращает течь ток короткого замыкания,

то есть после выключения выключателя приборов и стартера или при остановке двигателя или генератора.

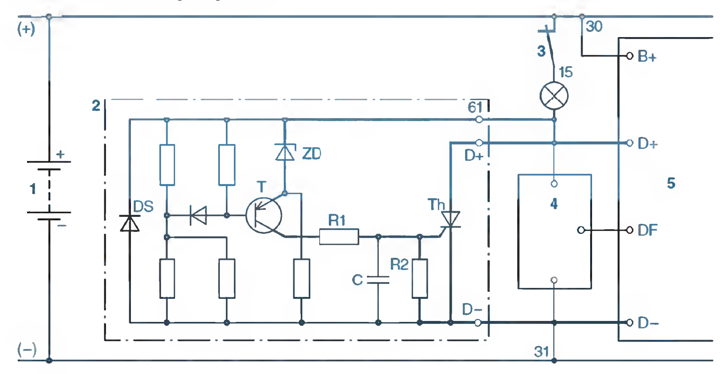


Рис. 3.59. Неавтоматическое устройство защиты от перенапряжений:
1 – батарея; 2 – устройство защиты от перенапряжений;
3 – выключатель приборов и стартера; 4 – регулятор; 5 – генератор

При замене местами D+ и D– во время монтажа устройство не будет защищено от перенапряжений.

Контрольная лампа генератора не будет указывать на данную ошибку. Для гарантирования надёжной индикации между клеммами D+ и D– подключается предохранительный диод DS. При смешивании проводов данный диод соединяется с полюсом в пропускном направлении. Контрольная лампа генератора будет гореть постоянно.

Устройство защиты от перенапряжений с автоматикой включения Данное устройство защиты разработано для генераторов автобусов или грузовых автомобилей (рис. 3.60).

Прибор имеет два входа D+ и B+, которые реагируют на различную высоту напряжения и время срабатывания. Вход D+ действует, как и в вышеописанном приборе, в качестве быстрой защиты от перенапряжения.

Вход B+ срабатывает только тогда, когда повреждён регулятор. При этом напряжение генератора нерегулируемо возрастает, и как только напряжение срабатывания устройства достигнет 31 В, прибор включается. Генератор остаётся замкнутым до выключения двигателя. Вход B+ работает также как защита от последующих повреждений.

Скачки напряжения, которые возникают самостоятельно вследствие отключения нагрузки генератора, могут повредить другие потребители в бортовой сети из-за короткого замыкания генератора. Кроме того, достигается защита бортовой сети от последующих повреждений при неисправном регуляторе.

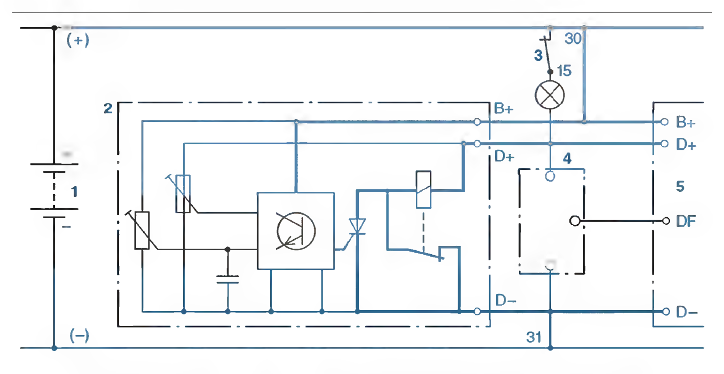


Рис. 3.60. Устройство защиты от перенапряжений с автоматикой включения:
1 – батарея; 2 – устройство защиты от последующих повреждений;
3 – выключатель приборов и стартера; 4 – регулятор; 5 – генератор

3.7.3. Электронное управление генераторами

Генераторы современных автомобилей управляются электронным блоком управления двигателем (рис. 3.61).

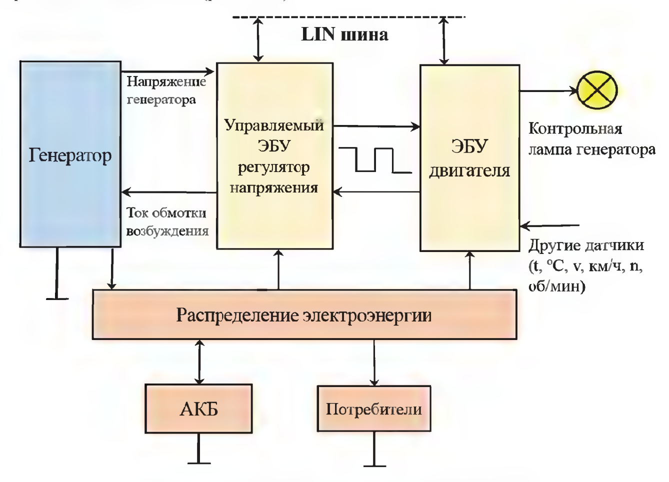


Рис. 3.61. Схема управления генератором по LIN-шине

Электронный блок управления двигателем вычисляет нагрузку на генератор и устанавливает скорость холостого хода. Обычно скорость холостого хода устанавливается в нижнем значении, таким образом уменьшая расход топлива. Однако, при необходимости, ЭБУ двигателя может увеличить скорость холостого хода, чтобы увеличить производство электроэнергии генератором и предотвратить разрядку аккумуляторной батареи. Например, после холодного запуска, в темноте, когда стекла покрыты льдом, весьма вероятно, что водитель включит фары, отопитель салона и подогрев стёкол, что приведёт к росту электрической нагрузки. Кроме того. аккумуляторная батарея также потребовала бы расхода электроэнергии. Электронный блок управления двигателем может установить скорость холостого хода на таком уровне, чтобы предотвратить разрядку батареи.

Становится возможным динамическое регулирование величины напряжения. Например, это может использоваться во время ускорения, для уменьшения нагрузки на двигатель, поскольку известно, что на привод генератора затрачивается до 10 % мощности двигателя.

§ 3.8. Эксплуатация и техническое обслуживание генераторов

Эксплуатация генераторных установок требует соблюдения нескольких правил:

- не допускается работа генераторной установки с отключённой аккумуляторной батареей: это может привести к выходу из строя регулятора напряжения);
- не допускается подсоединение к бортовой сети источников обратной полярности, т. е. «плюс» на «массе» (такое может произойти при запуске двигателя от посторонней АКБ);
- не допускаются проверки в схеме генераторной установки с подключением источников повышенного напряжения.

Работы по проверке текущего технического состояния и обслуживанию генератора проводятся через 50–80 тыс. км пробега, но не реже одного раза в два года. Прежде всего проверяются надёжность крепления генератора к двигателю и натяжение приводного ремня.

Недостаточно жёсткое крепление генератора к двигателю приводит к излому натяжной рейки и других деталей крепления. Слабо натянутый ремень проскальзывает по шкиву, что способствует ускоренному износу ремня и шкива, а также снижению частоты вращения ротора генератора под нагрузкой и уменьшению напряжения на его выводах. Аккумуляторная батарея при этом недозаряжается.

Превышение усилия натяжения ремня приводит к перегрузке подшипников, их перегреву и выходу из строя. Правильность натяжения проверяется по прогибу ремня в средней части нажатием на него торцом динамометра (или пальцем) с усилием 30–100 Н (в зависимости от типа автомобиля). Прогиб ремня (рис. 3.62) должен соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации конкретного автомобиля (как правило, величина прогиба лежит в пределах 8–15 мм).

Для проверки натяжения приводного ремня может использоваться специальный прибор, например ППНР-100.

Прибор состоит из динамометра *1* (см. рис. 3.63) и насадки-прогибомера *2* (в дальнейшем прогибомер).

Принцип действия прибора состоит в измерении прогиба ремня в середине между шкивами при приложении к нему заданного усилия. Для исключения необходимости считывания показаний со шкал прибора непосредственно в зоне измерений динамометр выполнен предельным, то есть сигнализирующим о достижении заранее заданного усилия сжатия, а прогибомер – с запоминанием максимально достигнутого при приложении усилия прогиба ремня.

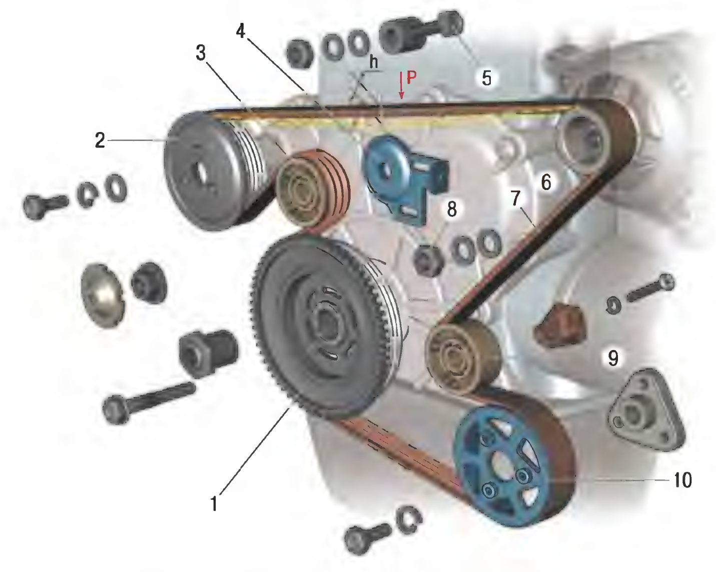


Рис. 3.62. Схема проверки натяжения ремня привода генератора

Устанавливают прибор стержнями на участки ремней, расположенные в ручьях шкивов контролируемого участка ремня так, чтобы наконечник прибора был направлен на ремень в центре участка. Нажимают на упор прибора. Скорость нажатия на упор динамометра должна быть ориентировочно около 0,5 с для достижения нагрузки от нуля до верхнего предела измерений.

Под действием усилия динамометр первоначально свободно перемещается в корпусе прогибомера, выбирая зазор между наконечником динамометра и ремнём, а в дальнейшем динамометр перемещается, прилагая усилие к ремню.

Нагрузку прилагают до щелчка диномометра, сигнализирующего о достижении установленного усилия.



Рис. 3.63. Устройство прибора ППНР-100

Аккуратно снимают прибор со шкивов, выводят из зоны измерений и по шкале насадки-прогибомера определяют прогиб ремня.

Другими способами определения натяжения ремня являются оптические или акустические, основанные на определении частоты колебаний ремня. Примером прибора, основанного на акустическом принципе, является рекомендованный АвтоВАЗом ЦНТ-Ремень (КВАЗАР-20) (рис. 3.58).

По своим техническим возможностям прибор позволяет измерять натяжение любых ремней, в отношении которых известна акустическая характеристика натяжения, включая ремни в приводах на промышленном оборудовании.

Прибор выполнен в виде двух блоков, соединённых между собой проводами:

1. Акустический блок. Имеет бесконтактный акустический датчик, размещённый в глубине раструба на торце акустического блока, и схему обработки затухающего акустического сигнала вибрации ремня, а также резьбовую втулку для соединения с телескопическим держателем.
2. Измерительный блок. Имеет трёхразрядный цифровой индикатор частоты колебания ремня (в герцах) и схему измерения частоты колебания ремня, а также гнездо подключения к источнику питания постоянного тока напряжением 12 В.

Пальцем или любым подходящим предметом оттяните ремень (или надавите на него), насколько возможно, и отпустите, как струну. Прибор измерит частоту колебаний ремня. На цифровом индикаторе должно загореться число, показывающее измеренную частоту в герцах.



Рис. 3.64. Прибор для проверки натяжения ремней

Измеряйте величину натяжения ремня на верхней ветви посередине между шкивом генератора и роликом. Частота колебаний для нового ремня составляет 140 ±10 Гц, для ремня в эксплуатации 125 ±5 Гц.

Периодически целесообразно проверять нормальную работоспособность генераторной установки. Контрольная лампа на щитке приборов не фиксирует неисправность в системе электроснабжения в случае повышения выходного напряжения генератора. Поэтому бортовым вольтметром, а при его отсутствии вольтметром, подключённым к клеммам аккумуляторной батареи, необходимо замерить величину бортового напряжения, установив среднюю частоту вращения коленчатого вала двигателя (2600–3000 мин$^{-1}$) и включив дальний свет фар. У исправно работающей генераторной установки напряжение должно находиться в пределах 13,5–14,8 В. Оно не должно повышаться при увеличении частоты вращения или снижаться при включении других потребителей, например стеклоочистителя, более чем на ±0,1 В.

При каждом очередном снятии генератора с автомобиля (через 100–150 тыс. км пробега) для профилактики необходимо провести осмотр щёток и контактных колец. Минимально допустимое выступание щёток из щёткодержателя указано в инструкции по эксплуатации автомобиля. Если выступание щёток менее 4–5 мм, их следует заменить. Контактные кольца можно зачистить мелкозернистой наждачной бумагой. Если износ колец ротора более 0,5 мм по диаметру, необходимо разобрать генератор и на роторе в сборе проточить кольца.

Подшипники ротора закрытого типа и не требуют смазки в течение гарантийного срока службы генератора. При нормальном состоянии подшипников вращение вала от руки должно происходить плавно, без шума и заеданий.

§ 3.9. Неисправности генераторных установок

Автомобильный генератор может иметь как механические, так и электрические повреждения.

К *механическим повреждениям* относятся перетирание шкива генератора приводным ремнём, разрушение подшипников ротора и износ деталей крепления. При значительном износе подшипников может иметь место соударение ротора со статором. Все эти неисправности, как правило, являются следствием нарушения технических условий эксплуатации генератора. Их устранение связано с заменой вышедших деталей из строя.

Электрические неисправности связаны с нарушением целостности электрических цепей в генераторе или с их коротким замыканием.

На рис. 3.65 показано распределение неисправностей генераторной установки по частоте возникновения.

Плохой контакт между щётками и контактными кольцами ротора возникает при загрязнении и замасливании контактных колец, большом износе щёток, уменьшении усилия пружин на щётки и зависании щёток в щёткодержателях. При этих неисправностях повышается сопротивление в цепи возбуждения, что вызывает снижение силы тока возбуждения, а поэтому уменьшается мощность генератора. Напряжение генератора в этих случаях достигает регулируемой величины только при повышенной частоте вращения ротора. Кроме того, плохой контакт между щётками и контактными кольцами является одной из причин мигания контрольной лампы.

Замыкание обмотки возбуждения на корпус ротора возникает в результате разрушения изоляции обмотки. При этом обмотка закорачивается на корпус и ток не проходит, вследствие чего генератор не работает. Чаще всего обмотка замыкается на корпус в местах вывода её концов к контактным кольцам ротора. Замыкание обмотки на корпус вызывает увеличение силы тока в цепи возбуждения генератора.

Межвитковое замыкание в катушке обмотки возбуждения возникает вследствие разрушения изоляции провода обмотки при перегреве или механическом повреждении. В результате уменьшается сопротивление цепи обмотки возбуждения, увеличивается сила тока возбуждения и повышается температура обмотки, что является причиной ещё большего разрушения изоляции провода и замыкания между собой большого числа витков катушки. При снижении сопротивления обмотки возбуждения происходит увеличение силы тока. В этих случаях происходит перегрев выходного транзистора, что может привести к его пробою.

При *обрыве одной фазы в цепи обмотки статора* увеличивается сопротивление в цепи остальных фаз, от чего снижается мощность генератора, а аккумуляторная батарея перестает полностью заряжаться.

В случае *обрыва в обмотке двух фаз* выключается вся обмотка статора, и генератор перестает работать.

Замыкание обмотки статора на сердечник возникает вследствие механического или теплового повреждения изоляции обмотки. При этом значительно

снижается мощность генератора, происходит его перегрев. Аккумуляторная батарея заряжается только на повышенной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Межвитковое замыкание в катушках обмотки статора возникает при перегреве вследствие разрушения изоляции обмотки. В короткозамкнутых катушках проходит ток большой силы, что увеличивает перегрев катушки и вызывает дальнейшее разрушение изоляции обмотки. При такой неисправности значительно снижается мощность генератора, а аккумуляторная батарея заряжается только на большой частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Пробой диода выпрямителя обычно происходит из-за его перегрева, который возможен при прохождении через диод тока большой силы, во время отключения аккумуляторной батареи из сети при работающем генераторе. Пробой одного или нескольких диодов одной (плюсовой или минусовой) шины выпрямительного блока приводит к снижению мощности генератора. Пробой диодов одновременно в плюсовой и минусовой шинах приводит к замыканию аккумуляторной батареи на «массу». В результате такого аварийного состояния в зарядной цепи устанавливается ток большой силы, который приводит в большинстве случаев к выгоранию, т. е. обрыву в цепи диода.

Обрыв внутренней цепи диода равносилен обрыву одной фазы статора. Пробой диодов одновременно в плюсовой и минусовой шине замыкает аккумуляторную батарею на генератор. Ток в зарядной цепи резко возрастает, что приводит к выгоранию внутренней цепи диода, то есть обрыву фазы.

§ 3.10. Диагностирование генераторных установок

Для определения технического состояния автомобильных генераторов применяют прямые и косвенные методы измерения текущих значений конструктивных параметров (размеры, зазоры, электрические характеристики, шум и т. д.).

Прямой метод (поэлементное диагностирование) обладает такими достоинствами, как точность, наглядность, достоверность, возможность применения достаточно простой технологии измерений и несложного инструмента. К его недостаткам следует отнести необходимость частичной или полной разборки генератора и высокую трудоёмкость.

Косвенные методы позволяют не разбирать генератор, проводить контроль с меньшими затратами труда и оперативно получать результаты измерения. К недостаткам косвенных методов относятся сложность диагностического оборудования, значительная стоимость самого оборудования для контроля, необходимость наличия высокой квалификации

Косвенные (диагностические методы) можно разделить на *стендовые испытания,* при которых генератор снимается с автомобиля для проведения проверки и снятия выходных характеристик, и *осциллографические испытания,* не требующие снятия генератора с автомобиля.

Проведение параметрических испытаний до и после испытаний позволяет определить степень влияния дестабилизирующих факторов, видов и методов испытаний на конструкцию, соблюдение технологии, стабильность показателей

качества изделий и систем. Параметрические испытания позволяют выявить начало неисправного состояния изделия, предшествующее отказу.

К параметрам генераторных установок, которые необходимо контролировать во время этих испытаний, относятся: напряжение на выходе генератора в зависимости от частоты вращения ротора в режиме холостого хода (без нагрузки), начальная частота вращения отдачи генератора, ток в расчётной точке нагрузочной характеристики, ток возбуждения, максимальный ток генератора при частоте вращения 5000 мин$^{-1}$, выходное напряжение генератора при заданных параметрах частоты вращения. температура и ток в горячем состоянии установки, диапазон изменения напряжения генератора при изменении его выходного тока и температуры окружающей среды.

Для снятия указанных выше характеристик генераторной установки (см. рис. 3.66) напряжение измеряют на положительном зажиме генератора, ток – между генератором и нагрузкой R и в цепи обмотки возбуждения (между регулятором напряжения и положительным зажимом).

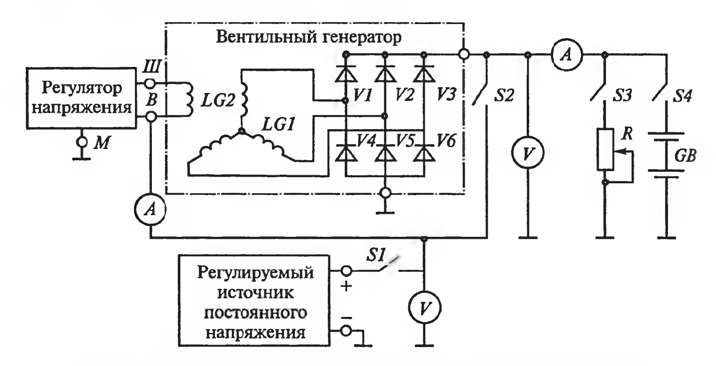


Рис. 3.66. Электрическая схема для измерения контролируемых параметров генераторной установки:
LG1 – обмотка статора генератора: LG2 – обмотка возбуждения генератора: V1-V6 – выпрямительные диоды; GB – аккумуляторная батарея; R – нагрузка генератора; S1 – выключатель режима независимого возбуждения генератора; S2 – выключатель режима самовозбуждения генератора (не может быть включён одновременно с S1); S3 – выключатель нагрузки генератора; S4 – выключатель аккумуляторной батареи

В измерительную схему включены выключатели S1 – S4, которые позволяют создавать режим генератора при его независимом возбуждении от постоянного источника, режим самовозбуждения, обеспечивают работу с аккумуляторной батареей и без неё, нагрузочный режим в горячем и холодном состоянии.

Осциллографический метод проверки отличается наименьшей трудоёмкостью, однако реально снятые осциллограммы, как правило, значительно

отличаются от типовых, что не позволяет достоверно определить неисправности генератора.

Типовыми осциллограммами (см. рис. 3.67) являются такие осциллограммы, которые соответствуют окончательной стадии развития той или иной неисправности и не позволяют диагностировать неисправности на начальных и промежуточных стадиях.

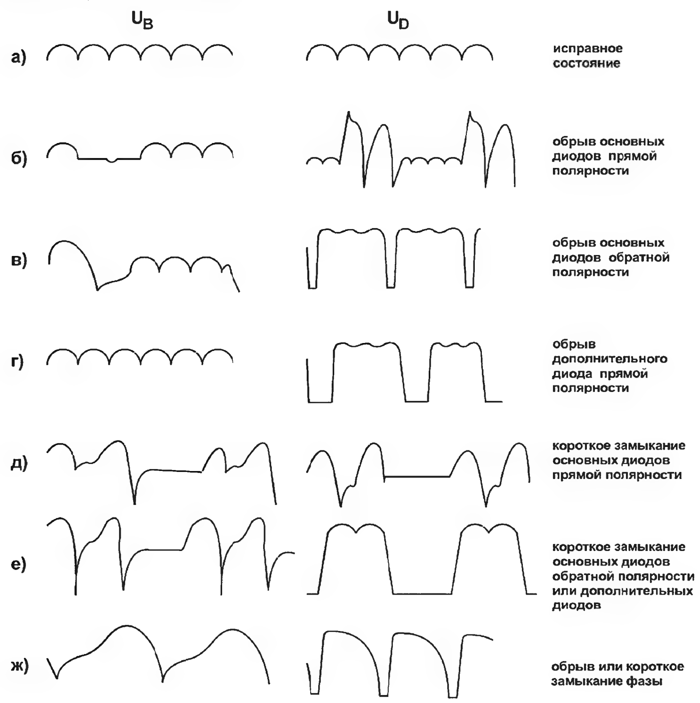


Рис. 3.67. Типовые осциллограммы неисправностей генератора

Приведём пример изменения формы осциллограммы в процессе развития неисправности. На рис. 3.68 показаны осциллограммы, соответствующие разным стадиям развития такой неисправности, как обрыв основного диода выпрямителя.

Следовательно, применение осциллографических методов диагностирования позволяет, помимо определения факта неисправности, прогнозировать

выход из строя генератора в ближайшем будущем при обнаружении осциллограмм, характерных для начальной стадии развития неисправности.

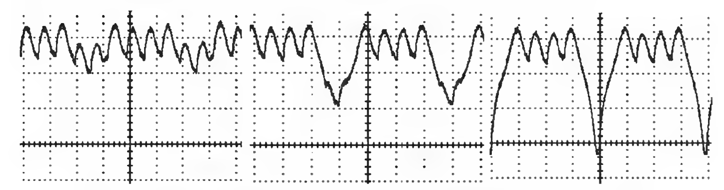


Рис. 3.68. Изменение формы осциллограмм в процессе развития неисправности (слева направо, на примере обрыва основного диода)

Контрольные вопросы к главе 3

1. Дайте определение системы электроснабжения автомобиля.
2. Что входит в систему электроснабжения?
3. Объясните разницу между понятиями «генератор» и «генераторная установка».
4. Каково назначение генераторной установки на автомобиле?
5. Какие причины вызвали замену генераторов постоянного тока генераторами переменного тока?
6. По каким признакам можно классифицировать автомобильные генераторы?
7. Как классифицируются автомобильные генераторы по принципу действия?
8. Как классифицируются автомобильные генераторы по конструкции?
9. Как классифицируются автомобильные генераторы по электрической схеме?
10. Как классифицируются автомобильные генераторы по конструкции выпрямителя?
11. Как классифицируются автомобильные генераторы по способу охлаждения?
12. Как классифицируются автомобильные генераторы по типу регулятора напряжения?
13. Как классифицируются автомобильные генераторы по типу привода?
14. Каковы основные тенденции в развитии конструкции автомобильных генераторов?
15. Перечислите требования, предъявляемые к автомобильным генераторам.
16. Какие из требований, предъявляемых к генераторным установкам, являются противоречивыми и почему?
17. Какие машины переменного тока применяют в качестве генераторных установок на транспортных средствах?

18. Какие условия работы генераторных установок являются наиболее сложными?
19. Какой закон положен в основу работы генераторных установок?
20. В результате действия чего в обмотке наводится ЭДС?
21. В каких генераторах используется модуляция магнитного потока по направлению?
22. В каких генераторах используется модуляция магнитного потока по величине?
23. Может ли на практике использоваться модуляция магнитного потока и по величине, и по направлению?
24. Объясните принцип действия простейшего генератора.
25. Перечислите достоинства и недостатки простейшего генератора.
26. Что такое самовозбуждение генератора?
27. Как осуществить самовозбуждение генератора на автомобиле?
28. Опишите принцип действия генератора с контактными кольцами.
29. Перечислите достоинства и недостатки генератора с контактными кольцами.
30. Опишите принцип действия индукторного генератора.
31. Перечислите достоинства и недостатки индукторного генератора.
32. Как устроен генератор жидкостного охлаждения?
33. Назовите пределы эффективности воздушного охлаждения генераторов.
34. Перечислите преимущества генераторов жидкостного охлаждения.
35. Почему генераторы компактного исполнения вытесняют генераторы традиционного исполнения?
36. Сколько пазов имеет статор современных генераторов?
37. Как изолируют пазы статора?
38. Почему статор генератора набирают из пластин?
39. Перечислите основные отличия при соединении фаз статора «звездой» и «треугольником».
40. Для чего применяются многофазные (с числом более трёх) обмотки статора?
41. Для какой цели выводится средняя точка при соединении фаз «звездой»?
42. Перечислите методы борьбы с магнитным шумом в автомобильных генераторах.
43. В чем преимущество клювообразной конструкции ротора?
44. Из какого материала изготавливают контактные кольца?
45. Как устроен выпрямительный блок автомобильного генератора?
46. Что представляет собой щёткодержатель автомобильного генератора?
47. Как осуществляется привод генератора на автомобиле?
48. Чем ограничено передаточное отношение между шкивами коленчатого вала и генератора?

49. В чём отличие системы охлаждения генераторов компактного и традиционного исполнения?
50. Какой тип вентиляторов используется в автомобильных генераторах?
51. Для чего предназначена обгонная муфта шкива генератора?
52. Как устроена обгонная муфта шкива генератора?
53. Как устроена разобщающая муфта шкива генератора?
54. Какой принцип положен в основу конструкции бесщеточных генераторов?
55. В чем заключается конструктивное отличие бесщеточного генератора?
56. Перечислите достоинства и недостатки бесщеточных генераторов.
57. Что называют индукторным генератором?
58. Как устроен ротор индукторного генератора?
59. Для чего в конструкцию индукторного генератора введены постоянные магниты?
60. Перечислите достоинства и недостатки индукторного генератора.
61. Какую роль выполняют диоды основного выпрямителя?
62. Какую роль выполняют диоды дополнительного выпрямителя?
63. Какую роль выполняют диоды повышения мощности?
64. Как устроены реактивные щёткодержатели?
65. Как обеспечивается зашита от проворачивания подшипников генератора?
66. Какие подшипники чаще всего установлены в автомобильном генераторе?
67. Как обеспечивается необходимое натяжение ремня привода генератора?
68. Для чего в электрической схеме генератора предназначен конденсатор?
69. Какова диагностическая роль контрольной лампы?
70. Каковы причины перехода от схемы соединения обмоток «звездой» к схеме соединения «треугольником»?
71. Каково назначение резистора, соединённого параллельно с контрольной лампой?
72. Почему обмотка статора индуктивного генератора выполнена многофазной (5, 7 фаз и т. д.)?
73. В каких случаях бортовая сеть автомобиля выполнена на 2 уровня напряжения?
74. Что такое третья гармоника напряжения и как её можно практически использовать?
75. Какую силу тока вырабатывают современные автомобильные генераторы?
76. Какую мощность имеют современные автомобильные генераторы?
77. Как вы думаете, в чем причина необходимости перехода с напряжения бортовой сети 14 В на 42 В?
78. При какой частоте вращения генератор вырабатывает максимальную мощность?

79. Что называют частотой начала отдачи?
80. Что такое коэффициент термокомпенсации? Чему он равен?
81. Что называют скоростной регулировочной характеристикой генератора? Изобразите её.
82. Что называют внешней характеристикой генератора? Изобразите её.
83. Что называют токоскоростной характеристикой генератора? Изобразите её.
84. Что называют характеристикой холостого хода генератора? Изобразите её.
85. В чём заключается свойство самоограничения генератора переменного тока?
86. Дайте определение регулятора напряжения.
87. На каком принципе основана работа регулятора напряжения?
88. Из каких элементов состоит регулятор напряжения?
89. Назовите назначение элемента сравнения регулятора напряжения.
90. Назовите назначение регулирующего элемента регулятора напряжения.
91. Назовите назначение измерительного элемента регулятора напряжения.
92. Чему равно соотношение времени включения выключения обмотки возбуждения на разных частотах вращения?
93. Перечислите достоинства и недостатки контактного (вибрационного) регулятора напряжения.
94. Перечислите достоинства и недостатки контактно-транзисторного регулятора напряжений.
95. Перечислите достоинства и недостатки бесконтактных регуляторов напряжения на гибридных схемах.
96. Перечислите достоинства и недостатки регуляторов напряжения на интегральных схемах.
97. Перечислите достоинства и недостатки современных бесконтактных регуляторов напряжения.
98. В каком случае биполярный транзистор пропускает ток?
99. В чём отличие стабилитрона от выпрямительных диодов?
100. Как протекает ток в бесконтактном регуляторе напряжения, если напряжение ≤ 14 В?
101. Как протекает ток в бесконтактном регуляторе напряжения, если напряжение >14 В?
102. Каково назначение гасящего контура?
103. Что произойдёт, если в схеме бесконтактного регулятора напряжения стабилитрон заменить диодом?
104. Что вызвало быструю смену поколений регуляторов напряжения?
105. Какие правила необходимо соблюдать при эксплуатации генераторных установок?
106. Перечислите основные функции многофункциональных регуляторов напряжения.

107. В чем преимущества управления генератором посредством электронного блока управления двигателя?
108. Почему не допускается работа генераторной установки с отключённой АКБ?
109. В чём заключается ЕО генераторной установки?
110. В чём заключается ТО-1 генераторной установки?
111. Какой прибор используется для проверки натяжения приводного ремня?
112. Как осуществляется проверка натяжения приводного ремня?
113. В чём заключается ТО-2 генераторной установки?
114. В каком случае щётки генератора подлежат замене?
115. Как проверяют состояние подшипников автомобильного генератора?
116. Как часто генератор снимают с двигателя для проверки?
117. Что произойдёт при выходе из строя регулятора напряжения?
118. Перечислите механические неисправности и причины их возникновения?
119. Перечислите основные электрические неисправности генераторных установок.
120. Какие причины вызывают появление неисправностей генераторов, а также какие изменения в конструкции могут полностью или частично их предотвратить?
121. К чему приводит обрыв обмотки возбуждения? Как его устранить?
122. К чему приводит обрыв фазы обмотки статора? Как его устранить?
123. К чему приводят межвитковые замыкания в обмотке возбуждения?
124. К чему приводят межвитковые замыкания в обмотке статора?
125. Как проявляется выход из строя одного или нескольких диодов основного выпрямителя?
126. Как проявляется выход из строя одного или нескольких диодов дополнительных выпрямителей?
127. На основании каких опытов выносят заключение об исправности генераторных установок?
128. Как диагностировать техническое состояние автомобильного генератора?
129. Что такое зарядный баланс? От каких факторов он зависит?
130. Как оценить техническое состояние автомобильного генератора?
131. Как оценить техническое состояние регулятора напряжения?
132. Как по форме осциллограммы выходного напряжения определить конкретную неисправность автомобильного генератора?
133. Можно ли по форме осциллограммы определить стадию развития неисправности генератора? Почему?
134. Можно ли, используя осциллограф, прогнозировать ресурс автомобильного генератора?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автомобильный справочник. Пёр. с англ. ООО «СтарСПб» – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулём», 2012. – 1280 с.
2. Акимов, А. В. Генераторы зарубежных автомобилей / А. В. Акимов, С. В. Акимов, Л. П. Лейкин, под общ. ред. проф. С. В. Акимова. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2003. – 128 с.
3. Акимов, С. В. Электрооборудование автомобилей: учёб. для вузов / С. В Акимов – М.: За рулём, 2005. – 384 с.
4. Василевский, В. И. Автомобильные генераторы / В. И. Василевский, Ю. А. Купеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Транспорт, 1978. – 159 с.
5. Волков, В. С. Электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В. С. Волков – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 384 с.
6. ГОСТ Р 52230–2004 «Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия». – Введ. 2005-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 22 с.
7. ГОСТ Р 53165–2008 «Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автотракторной техники. Общие технические условия». – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.
8. Дворников, Г. П. Электрооборудование автомобилей: учеб. пособие для вузов / Г. П. Дворников, А. В. Пузаков, А. М. Федотов. – Оренбург: ОГУ, 2006. – 208 с.
9. Калашников, М. Г. Системы электроснабжения транспортных машин / М. Г. Калашников, О. И. Милютин, В. Д. Константинов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 143 с.
10. Курзуков, Н. И. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник / Н. И. Курзуков, В. М. Ягнятинский – М.: ООО «Книжное издательство «За рулём», 2008. – 88 с.
11. Набоких, В. А. Автотракторное электрическое и электронное оборудование. Словарь-справочник. Учебное пособие для вузов / В. А. Набо-ких. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 352 с.
12. Набоких, В. А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов: учебное пособие / В. А. Набоких – М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА, 2013. – 288 с.
13. Набоких, В. А. Испытания электрооборудования автомобилей и тракторов: Учебник для студентов высш. учеб. заведений / В. А. Набоких. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 256 с.
14. Набоких, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования автомобилей и тракторов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. А. Набо-ких. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 240 с.
15. Набоких, В. А. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. А. Набоких. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с.
16. Пузаков, А. В. Анализ тенденций развития автомобильных генераторов / А. В. Пузаков, Я. Ю. Осаулко // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 7–9 дек. 2016 г., Омск. – Омск: СибАДИ, 2016. – С. 590–596.
17. Пузаков, А. В. Оценка технического состояния системы электроснабжения автомобилей / А. В. Пузаков, А. М. Федотов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 103 с.

18. Пузаков, А. В. Оценка технического состояния стартерных аккумуляторных батарей: методические указания / А. В. Пузаков. – Оренбург, ОГУ, 2013. – 70 с.
19. Пузаков, А. В. Расчёт элементов систем электрооборудования автомобилей: методические указания /А. В. Пузаков. – Оренбург, ОГУ, 2013. – 78 с.
20. Сафиуллин, Р. Н. Электротехника и электрооборудование транспортных средств: учебное пособие / под ред. Р. Н. Сафиуллина. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 400 с.
21. Сергеев, А. Г. Диагностирование электрооборудования автомобилей / А. Г. Сергеев, В. Е. Ютт. – М.: Транспорт, 1987. – 157 с.
22. Смирнов, Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей / Ю. А. Смирнов. А. В. Муханов – М.: Издательство «Лань», 2012. – 624 с.
23. Соснин, Д. А. Электрическое. электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей (Автотроника-4): учебник для вузов /Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2015. – 416 с.
24. Традиционные и гибридные приводы. Под редакцией Конрада Райфа. Перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2014. - 224 с.
25. Федотов, А. И. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении: учебник для студ. учреждений высш. образования / А. И. Федотов. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 352 с.
26. Фесенко, М. Н. Теория, конструкция и расчёт автотракторного электрооборудования: / М. Н. Фесенко, Л. В. Копылова, В. И. Коротков и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 382 с.
27. Хернер А., Риль Х.-Ю. Автомобильная электрика и электроника. Перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2013. – 624 с.
28. Чижков, Ю. П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник для вузов /Ю.П. Чижков – М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
29. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов / В. Е. Ютт М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 440 с.
30 Bosch. Автомобильная электрика и электроника. Под редакцией Конрада Райфа. Перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2014. – 616 с.
31. Barry Hollembeak Classroom and Shop Manual for Automotive Electricity and Electronics – Fifth Edition – NY, Delmar, 2011 – 1262 p.
32. Henning Wallentowitz/Konrad Reif (Hrsg.) Handbuch Kraftfahrzeugelektronik Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen Classroom – Wiesbaden, GWV Fachverlage Gmb, 2006 – 746 m.

ГЛОССАРИЙ

«Масса» – электрооборудование большинства современных автомобилей электрооборудование выполнено по однопроводной схеме. Функцию минусового («массового») провода выполняют кузов и двигатель автомобиля. Поэтому отрицательные выводы всех электроприборов (источников и потребителей электроэнергии) соединены с кузовом или двигателем.

«Прикуривание» – процедура пуска двигателя внутреннего сгорания от батареи другого автомобиля. Прежде всего отсоединяют провод от отрицательного полюсного вывода неисправной (разряженной) батареи. Провода «прикуривания» присоединяют с одной стороны к полюсным выводам исправной батареи. С другой стороны положительный провод присоединяют к положительной клемме разряженной батареи, отрицательный – к корпусу двигателя автомобиля с разряженной батареей.

AGM, Absorbent Glass Mat – технология производства аккумуляторных батарей. Электролит впитывается и удерживается стекломатами, представляющими собой микропористый нетканый материал из переплетающихся между собой ультратонких стекловолокон. Стекломаты выполняют функции сепараторов. В батарею заливается только то количество электролита, которое могут впитать стекломаты.

EFB, Enhanced Flooded Battery – технология производства аккумуляторных батарей. Пластины увеличенной толщины покрыты плёнкой из микроволокна, удерживающей на своей поверхности больше активных компонентов.

OPTIMA – технология производства аккумуляторных батарей. В батареях OPTIMA применяются «рулонные элементы» – две свитые в рулон тонкие свинцовые ленты с сепаратором из стекловолокна, содержащим кислоту. Такая технология позволяет значительно снизить толщину свинцовых лент и на 50–100 % увеличить их активную площадь в сравнении с обычными пластинами.

VRLA, Valve Regulated Lead Acid Battery – технология производства аккумуляторных батарей. Заливные пробки таких батарей не выворачиваются. Образующиеся при перезаряде водород и кислород обычно батарею не покидают и реагируют между собой с образованием воды.

Абсорбированный электролит – электролит, в состав которого добавлена кремниевая кислота, превращающая его в гель. Добавление фосфорной кислоты существенно повышает их циклическую стойкость и способность к восстановлению после глубокого разряда.

АКБ – аббревиатура, сокращённое название аккумуляторной кислотной батареи.

Активная масса – составная часть пластин (электродов) аккумулятора, которая при прохождении электрического тока подвергается химическим превращениям.

Ампер-час (А·ч) – единица, отражающая ёмкость аккумулятора (батареи), равная произведению силы разрядного тока на время разряда.

Ареометр кислотный – прибор для измерения плотности электролита кислотных батарей. Представляет собой пипетку, внутрь которой помещён поплавок со шкалой (денсиметр), степень всплытия которого характеризует плотность электролита.

Асинхронный генератор – генератор, в котором частота вращения ротора и частота вращения магнитного поля не совпадают. Используется в ряде стартер-генераторов с ремённым приводом.

Безобмоточный ротор – ротор индукторного и бесщёточного генераторов, назначением которых является модуляция магнитного потока по направлению, а не по величине. Ротор индукторного генератора представляет собой стальную звёздочку с шестью или более лучами, набранную из пластин. Между зубьями звёздочки располагаются постоянные магниты. Ротор бесщёточного генератора состоит из двух полюсных половин, одна из которых посажена на вал, а вторая (в усечённом виде) приварена к первой по клювам полюсов немагнитным материалом.

Безопасная штепсельная вилка – для гарантии безопасности при обслуживании транспортного средства, высоковольтная батарея делится на два отдельных блока через штепсельную вилку. Эта вилка сделана так, что её приходится разъединять перед любыми работами с батареей. При удалении вилки напряжение между клеммами батареи отсутствует.

Бесконтактный регулятор напряжения – регулятор напряжения, в котором функция прерывания тока в обмотке возбуждения возложена на полупроводниковые приборы (транзисторы, стабилитроны, диоды и т. п.).

Бесщеточный генератор – генератор, в котором обмотка возбуждения либо заменена постоянными магнитами, либо размещена неподвижно, так как в этом случае отсутствует необходимость в щётках. Достоинством таких генераторов является большая надёжность, однако технология изготовления усложняется.

Биполярный транзистор – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими *p-n*-переходами, работающий в ключевом или усилительном режимах. В регуляторе напряжения используется в качестве бесконтактного ключа для прерывания тока в обмотке возбуждения.

Блок пластин (электродов) – узел, состоящий из полублоков положительных и отрицательных пластин, включая изоляцию пластин (сепараторы).

Вихревые токи – замкнутые индукционные токи, возникающие под действием переменного магнитного поля. Они приводят к потерям на нагрев и перемагничивание. Для уменьшения потерь магнитопроводы электрических машин выполняют набранными из тонких пластин (шихтованными), изолированными между собой лаком или слоем оксида.

Вентильный генератор – генератор переменного тока, оборудованный встроенным полупроводниковым выпрямителем, диоды которого (вентили) пропускают ток в одном направлении.

Внешняя характеристика генератора – это зависимость напряжения генератора от тока нагрузки $U_г = f(I_г)$ при постоянном скоростном режиме (n = const).

Внутреннее сопротивление – сопротивление батареи прохождению тока, включающее в себя сопротивление электролита, сепаратора, решётки и т. д. Для стартерной батареи составляет несколько тысячных долей ома и увеличивается по мере её разряда и снижения температуры электролита.

Воздушное охлаждение генератора – охлаждение наиболее нагретых частей генератора потоками воздуха. Наиболее распространена одно- или двухпоточная самовентиляция воздухом из подкапотного пространства. В ряде случаев устанавливается патрубок для забора менее нагретого воздуха.

Выключатель «массы» – прибор, рассоединяющий отрицательный полюсный вывод аккумуляторной батареи и кузов («массу») автомобиля. Используется для предотвращения разряда батареи и приводится в действие вручную.

Выпрямитель – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в пульсирующий ток одного направления. Величина пульсаций напряжения определяется схемой выпрямления.

Выпрямительный блок генератора – элемент конструкции, служащий для преобразования переменного напряжения, вырабатываемого многофазной обмоткой статора. в постоянное, пригодное для заряда аккумуляторной батареи и питания большинства потребителей автомобиля.

Вязкость – мера текучести жидкого вещества.

Газообразование – образование газа на электродах свинцовой АКБ. В конце процесса зарядки происходит усиленное выделение гремучего газа, возникающего в результате разложения воды, содержащейся в электролите, на водород и кислород.

Гасящий контур генератора – элемент защиты, предназначенный для защиты обмотки возбуждения от перенапряжения. Представляет собой диод, включённый параллельно обмотке возбуждения. При прерывании тока в обмотке в ней возникает высокое напряжение, способное повредить межвитковую изоляцию. Наличие гасящего контура позволяет току обмотки плавно уменьшиться до нуля, не вызывая опасных перенапряжений.

Гелевый аккумулятор – аккумулятор с абсорбированным электролитом. Не устанавливается в моторном отсеке по причине непереносимости высоких температур. Обладает высокой циклической стойкостью.

Генератор – электрическая машина, преобразующая механическую энергию вращения ротора в электрическую.

Генератор переменного тока (alternator) – электрическая машина, преобразующая механическую энергию вращения ротора в электрическую энергию переменного тока. Существуют асинхронные и синхронные генераторы.

Генератор постоянного тока (dynamo) – электрическая машина, преобразующая механическую энергию вращения ротора в электрическую энергию постоянного тока. Постоянство тока обеспечивает коллектор. Невысокие эксплуатационные

характеристики генераторов постоянного тока способствовали замещению их генераторами переменного тока в транспортных средствах, начиная с конца 70-х годов прошлого века.

Герметичность – свойство аккумулятора не допускать просачивания электролита при переворачивании (опрокидывании автомобиля). Полностью герметичны гелевые аккумуляторы, аккумуляторы типа VRLA и AGM. Электролит остальных аккумуляторов не должен выливаться при наклоне на 45°.

Глубокий разряд – разряд АКБ до полного истощения заряда. АКБ считается глубоко разряженной, если плотность её электролита менее 1,14 г/см^3, а напряжение покоя ниже 11,9 В.

Гремучий газ – взрывоопасная смесь из водорода и кислорода. Может образовываться при заряде аккумуляторов.

Датчик аккумуляторной батареи – датчик, закреплённый на отрицательном выводе аккумуляторной батареи. Служит для оценки состояния заряженности и работоспособности батареи.

Двойной генератор – разновидность синхронного генератора переменного тока, который состоит из двух электрически и механически связанных общим корпусом классических генераторов. Двойной генератор используется в автобусах. которые вследствие растущих потребностей к комфорту предъявляют большие требования к мощности генератора.

Денсиметр – прибор для измерения плотности электролита. Представляет собой поплавок со шкалой, величина погружения которого обратно пропорциональна плотности электролита (большее погружение соответствует меньшей плотности).

Дистанционный выключатель АКБ – устройство, представляющее собой контактор, размыкающий цепь между отрицательным выводом аккумуляторной батареи и кузовом («массой») автомобиля при нажатии кнопки на панели водителя.

Дистиллированная вода – вода, очищенная от солей и примесей металлов в специальном устройстве – дистилляторе. Служит для приготовления электролита для аккумуляторных батарей. Использование недистиллированной воды приводит к повышенному саморазряду батареи.

Ёмкость – количество электричества, которое способен отдать аккумулятор (батарея) во внешнюю цепь, измеренное в ампер-часах (А·ч).

Жидкостное охлаждение генератора – применяют для обеспечения быстрого прогрева холодного двигателя после запуска и снижения выбросов углеводородов в отработавших газах. Используется на генераторах мощностью свыше 3 кВт по причине неэффективности воздушного охлаждения.

Замерзание электролита – образование на поверхности и в толще электролита кристаллов льда. Может произойти при сочетании низких температур и невысокой плотности электролита. Электролит в заряженной батарее с удельной плотностью 1,28 г/см^3 обладает точкой замерзания от −60 до −68 °С. Разряженная батарея с удельной плотностью 1,04 г/см^3 имеет точку замерзания от −3 до −11 °С.

Заряд – преобразование электрической энергии в химическую энергию с помощью электрического тока, протекающего через АКБ в определённом направлении.

Зарядное напряжение – напряжение, подводимое к выводам АКБ при заряде.

Зарядные характеристики – изменение зарядного напряжения и зарядного тока в процессе заряда батареи с целью достижения максимальной степени заряженности.

Зарядный ток – ток, которым заряжается АКБ.

Инвертор – устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Используется на гибридных автомобилях и электромобилях для питания тяговых электродвигателей переменного тока от высоковольтной аккумуляторной батареи.

Индикатор заряженности – устройство, размещаемое в одном из аккумуляторов батареи, которое позволяет оценить степень заряженности батареи и уровень электролита в ней. Зелёный цвет индикатора свидетельствует о достаточной степени заряженности батареи (>65 %) и её исправности. Чёрный цвет свидетельствует о недостаточной степени заряженности батареи (<65 %) и необходимости её подзаряда. Бесцветный глазок свидетельствует о слишком низком уровне электролита и необходимости замены батареи.

Индуктор – элемент конструкции электрической машины, предназначенный для создания магнитного поля. В генераторах индуктором является клювообразный ротор.

Индукторный генератор – синхронная одноимённо-полюсная машина переменного тока. Индукторный генератор является бесщёточным генератором с неподвижной обмоткой возбуждения, ротор которого представляет собой стальную многолучевую звёздочку на валу генератора.

Ион – частица (атом или молекула), обладающая электрическим зарядом. В нейтральном состоянии у атомов и молекул число электронов соответствует числу протонов. Электрический заряд, и, следовательно, ион возникают тогда, когда число электронов у атома или молекулы становится меньше или больше, чем в нейтральном состоянии. При недостатке электронов ионы несут положительный заряд, а при избытке электронов – отрицательный.

Ионизация – перевод атомов или молекул в электрически заряженное состояние.

Ионистор – электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, в котором в роли «обкладок» выступает двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. По характеристикам занимает промежуточное положение между конденсатором и химическим источником тока.

Кальциевое отравление – батареи, изготовленные по кальциевой технологии, хуже переносят глубокие разряды (то есть разряды ниже 50 % состояния заряженности), а также перезаряды. Причина этого кроется в постепенном необратимом образовании непроводящего коррозионного слоя из оксида свинца в месте контакта положительной решётки и активной массы, который увеличивает

внутреннее сопротивление АКБ, что ухудшает её ёмкостные и стартерные характеристики.

Клювообразный (когтеобразный) ротор – элемент конструкции генератора, который состоит из двух полюсных половин, клювы которых образуют у одной половины северную, а у другой – южную системы полюсов. Между полюсными половинами размещена обмотка возбуждения. Клювообразное исполнение позволяет с помощью одной катушки получить многополюсную систему.

Конечное напряжение разряда – заданное значение напряжения, ниже которого оно не должно падать при разряде соответствующим током и по достижении которого разряд АКБ завершается (соответственно, при более низком конечном напряжении разряда АКБ считается разряженной).

Контактно-транзисторный регулятор напряжения – регулятор напряжения, сменивший вибрационные регуляторы. Повышенная надёжность достигнута за счёт усложнения конструкции: ток обмотки возбуждения прерывается биполярным транзистором, а управление транзистором осуществляет электромагнитное реле.

Контактные кольца – элемент конструкции генератора, обеспечивающий электрическую связь между обмоткой возбуждения и щётками, через которые к обмотке подводится напряжение. Контактные кольца выполняют из меди, латуни или нержавеющей стали.

Контактный (вибрационный) регулятор напряжения – первое поколение регуляторов напряжения, управляющих током обмотки возбуждения генератора путём периодического ввода в цепь обмотки сопротивления. Основой конструкции являлось электромагнитное реле, замыкание / размыкание контактов которого изменяло ток в обмотке возбуждения. Величина уставки напряжения регулировалась изменением натяжения пружины, препятствующей замыканию контактов. Основным недостатком таких регуляторов являлась низкая надёжность.

Контрольная лампа генератора – диагностический элемент работоспособности автомобильного генератора. Контрольная лампа загорается при включении зажигания, сигнализируя о целостности цепи обмотки возбуждения. После запуска двигателя контрольная лампа должна погаснуть, свидетельствуя об исправности генератора.

Контрольно-тренировочный цикл – совокупность процедур, направленных на поддержание надлежащего технического состояния аккумуляторных батарей. Включает в себя заряд батареи током $0{,}1 \cdot C_{20}$, разряд батареи током $0{,}05 \cdot C_{20}$ и окончательный заряд силой тока $0{,}05 \cdot C_{20}$. Контрольно-тренировочный цикл проводят для устранения частичной сульфатации и других неисправностей АКБ, однако для батарей, изготовленных по кальциевой технологии, его проведение крайне не рекомендуется!

Короткое замыкание – одна из неисправностей аккумуляторных батарей. Внутреннее короткое замыкание в аккумуляторе происходит между разноимёнными

пластинами за счёт заполнения наиболее крупных пор сепараторов активной массой («прорастание»).

Корректировка плотности – совокупность процедур, направленных на выравнивание плотности отдельных аккумуляторов. Проводится при значительном отклонении плотности электролита соседних аккумуляторов (более чем на 0,01 г/см^3). Вначале плотность электролита всех аккумуляторов устанавливается по минимальной плотности.

Коэффициент заряда – отношение количества электричества, необходимого для полного заряда АКБ, к количеству электричества, отобранного из АКБ перед этим.

Коэффициент термокомпенсации – показывает зависимость напряжения от температуры воздуха в подкапотном пространстве (измеряется в мВ/°С). Для обеспечения заряда аккумуляторной батареи в холодное время года напряжение генератора необходимо увеличить, а в жаркое время напряжение генератора следует снизить для исключения перезаряда аккумуляторной батареи и выкипания воды из электролита.

Литий-ионный аккумулятор – аккумулятор, состоящий из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи: например, в графит с образованием LiC_6, окислы ($LiMnO_2$) и соли (LiMnRON) металлов.

Магнитно-электромагнитное возбуждение – комбинированный способ возбуждения (создания магнитного поля), сочетающий обмотку возбуждения и постоянные магниты. Преимуществом такого возбуждения является увеличение магнитного поля при небольших габаритах, а недостатком – сужение диапазона регулирования выходного напряжения.

Магнитный шум генератора – обусловлен колебаниями клювов при изменении магнитного потока. Для уменьшения магнитного шума генератора клювы полюсов по краям обычно имеют скосы с одной или двух сторон. В некоторых конструкциях для той же цели под острыми концами клювов размещается антишумовое немагнитное кольцо, расположенное над обмоткой возбуждения.

Маркировка АКБ – совокупность буквенно-цифровых и символьных обозначений на корпусе батареи. Обычно включает в себя: тип батареи, номинальное напряжение, номинальную ёмкость, полярность, массу батареи, символы безопасности, отметки уровня электролита и др.

Межэлементное соединение – элемент конструкции аккумуляторной батареи, связывающий между собой отрицательный полублок одного аккумулятора с положительным полублоком другого аккумулятора.

Многофункциональный регулятор напряжения – последнее поколение регуляторов напряжения, выполняющих помимо поддержания постоянства напряжения и его термокомпенсации ряд дополнительных функций. К таким функциям относят: индикацию пониженного и повышенного напряжения бортовой сети автомобиля, а также низкого фазного напряжения генератора (индикация осуществляется свечением штатной контрольной лампы); плавное нарастание тока нагрузки; защиту от короткого замыкания в выходной и в индикаторной цепи и другие.

Моноблок – корпус аккумуляторной батареи, выполненный из полипропилена (полиэтилена), разделённый перегородками на несколько ячеек, в которые помещены аккумуляторы.

Нагрузочная вилка – диагностический прибор, позволяющий оценить техническое состояние внутренней цепи аккумуляторной батареи. Содержит резистор и нагружает батарею, на которой имитируется стартерный разряд. Если напряжение в конце 5-й секунды разряда превышает 8,9 В, то батарея считается исправной (отсутствуют внутренние дефекты).

Напряжение газообразования – зарядное напряжение, начиная с которого выделение газов в АКБ существенно увеличивается.

Напряжение на выводах (электродвижущая сила, ЭДС) – напряжение, измеренное между полюсными выводами АКБ.

Натяжение приводного ремня – слишком малое или слишком большое натяжение является очень часто причиной преждевременного разрушения (аварии) ремня. Слишком большое натяжение вызывает также ускоренный износ подшипников генератора. Для проверки степени натяжения ремней используются специальные приборы. Они делятся на два типа: механические и электронные. Механические приборы выполнены на основе принципа динамометра. Электронные приборы основаны на принципе улавливания звуков высокой частоты. При автоматическом способе ремень не требует подтяжки или силовой проверки.

Начальная частота вращения – частота вращения ротора генератора, при которой он в режиме холостого хода начинает вырабатывать номинальное напряжение.

Номинальная разрядная ёмкость – ёмкость, указываемая на батарее (C_{20}), определяется при 20-часовом режиме разряда током $I = 0{,}05 \cdot C_{20}$ при $t = 25$ °С. Разряд должен прекратиться при конечном напряжении $U = 10{,}5$ В.

Обгонная муфта генератора – элемент конструкции генератора, предназначенный для сведения к минимуму воздействия неравномерности вращения приводного ремня. Шкив генератора с обгонной муфтой оснащён комбинацией из прецизионных роликоподшипников и подпружиненных игольчатых подшипников, что обеспечивает надёжную работу в режиме свободного хода и в режиме блокировки.

Обмотка возбуждения генератора – элемент конструкции генератора, назначением которого является создание магнитного поля. Обмотка может располагаться

неподвижно – как в индукторных и бесщеточных генераторах, либо вращаться вместе с валом ротора.

Обмотка статора – элемент конструкции генератора, выполненный в виде многофазной обмотки и закреплённый в магнитопроводе статора. Вырабатывает переменный ток при модуляции магнитного потока обмотки возбуждения.

Оплывание активной массы – одна из неисправностей стартерных аккумуляторных батарей, характеризующаяся отслоением активной массы с положительных и отрицательных пластин. Разрушение и оплывание активной массы приводит, прежде всего, к снижению ёмкости положительного электрода вследствие уменьшения запаса активной массы.

Осевая вентиляция – способ воздушного охлаждения генераторов, при котором охлаждающий воздух забирается через отверстия в крышке, проходит вдоль нагретых частей и выбрасывается центробежным вентилятором наружу. Может быть одно- и двухпоточной. В первом случае один вентилятор расположен снаружи генератора, во втором – два вентилятора установлены внутри генератора. Преимуществом последней схемы является лучшее охлаждение обмотки статора, однако при небольших скоростях эффективность охлаждения ухудшается.

Отвод газов (дегазация) – в случае АКБ с системой отвода газов смесь газов, выделяющихся в АКБ, отводится по пластиковому шлангу (газоотводный шланг) наружу в безопасное место.

Отрицательная пластина – пластина аккумулятора, активная масса которой (при заряженной АКБ) состоит из чистого свинца (Pb), а при разряженной АКБ – из сульфата свинца ($PbSO_4$).

Отстающие аккумуляторы – если в аккумуляторной батарее хотя бы один аккумулятор разряжается раньше остальных, то работоспособность батареи будет определяться именно этим, *отстающим,* аккумулятором. Для устранения подобной неисправности производят корректировку плотности электролита и последующий длительный заряд малым током.

Перемешивающий элемент – элемент конструкции аккумуляторной батареи, предназначенный для снижения негативного влияния расслоения плотности электролита (стратификации).

Перемычка пластин (баретка) – проводник, соединяющий однополярные пластины аккумулятора.

Пламегаситель (фритта) – представляет собой небольшой круглый диск из пластика АБС (АБС – акрилонитрилбутадиенстирол). Расположен перед отверстием центрального газоотвода. Работает подобно клапану, то есть позволяет образующимся в АКБ газам (гремучему газу) с ускорением, вследствие сужения выпускного канала, вытекать из АКБ наружу. Если выходящий из АКБ гремучий газ будет подожжён снаружи, фритта воспрепятствует прорыву пламени внутрь АКБ и таким образом предупредит возможный взрыв АКБ.

Плотномер – прибор для определения плотности электролита свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Представляет собой пластмассовый прозрачный корпус, в котором размещены семь поплавков различной массы. На корпусе против каждого поплавка выполнена надпись наименьшей плотности, при которой всплывает поплавок. Величину плотности определяют по тому всплывшему поплавку, против которого выполнена надпись с большей цифрой.

Плотность – отношение массы тела к объёму, выраженное, например, в г/см^3 или кг/ м^3.

Плотность электролита – величина, отражающая соотношение между серной кислотой и дистиллированной водой в электролите. Плотность электролита косвенно показывает степень заряженности аккумулятора. Плотность полностью заряженного свинцово-кислотного аккумулятора составляет 1,27 г/см^3. Уменьшение плотности на 0,01 г/см^3 соответствует уменьшению заряженности аккумулятора на 6 %.

Полимерно-электролитная мембрана – элемент конструкции водородных топливных элементов, предназначенный для эффективного разделения электродов с целью предотвращения как прямой химической реакции молекулярных реагентов, так и прямого электрического контакта электродов при обеспечении беспрепятственного протонного транспорта с анода на катод.

Полный заряд – заряд, при котором реакции химических превращений завершены. Свинцовые АКБ заряжены полностью, когда в конце заряда плотность электролита и напряжение больше не увеличиваются.

Положительная пластина – пластина аккумулятора, активная масса которой (при заряженной АКБ) состоит из двуокиси свинца (PbO_2), а при разряженной АКБ – из сульфата свинца ($PbSO_4$).

Полупроводниковый диод – электронно-дырочный переход (*p-n*-переход), заключённый в корпус и снабжённый выводами для включения во внешнюю цепь. Пропускает ток в одном направлении и используется в выпрямителях.

Полюсные выводы (терминалы) – выводы, предназначенные для присоединения аккумуляторной батареи в бортовую сеть. Могут иметь цилиндрическую, L-образную и резьбовую форму.

Полярность аккумуляторной батареи – расположение полюсных выводов на корпусе аккумуляторной батареи. Если расположить батарею полюсными выводами ближе к себе, когда положительный вывод окажется слева – получится прямая полярность, а если наоборот – обратная.

Помехоподавительный конденсатор – элемент конструкции генератора, уменьшающий высокочастотные помехи, которые возникают при работе выпрямителя. Снижает помехи, появляющиеся при искрении щёток генератора.

Преобразователь напряжения (конвертор) – устройство для преобразования постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения.

Привод генератора – устройство для передачи частоты вращения коленчатого вала ДВС на вал генератора. Может быть ремённым, цепным или шестерёнчатым. Наиболее распространён привод клиновым или поликлиновым ремнём с передаточным отношением 2,4–3,5.

Приоритет потребителей – распределение потребителей по важности с точки зрения безопасности движения, функционирования основных систем автомобиля и комфорта водителя и пассажиров. Увеличение потребности в электроэнергии при одновременном снижении возможностей системы электроснабжения приводит к отключению наименее важных потребителей.

Пробка – пробка для отверстия центрального газоотвода в крышке АКБ. Пробку следует устанавливать только на одной стороне АКБ. Не путать с пробкой аккумулятора!

Пробка аккумулятора – предназначена для закрывания отверстия аккумулятора в крышке АКБ.

Прогиб ремня – наибольшее отклонение, зафиксированное в точке приложения усилия. Прогиб нормально натянутого ремня при нажатии на середину наибольшей ветви не должен превышать 10 мм при заданном усилии.

Протон – ион атома водорода.

Пусковая АКБ – аккумуляторная батарея, предназначенная преимущественно для запуска двигателя внутреннего сгорания. Используется на автомобилях с двумя и более батареями для повышения надёжности системы электростартерного пуска.

Размагничивающая обмотка – в индукторных генераторах для расширения диапазона скоростного режима кроме основной обмотки возбуждения применяют включённую встречно ей размагничивающую обмотку.

Разобщающая муфта генератора – оснащена встроенной торсионной пружиной и пакетом дисков сцепления. Торсионная пружина служит для мягкого разгона приводимых агрегатов, а пакет дисков сцепления обеспечивает функцию расцепления.

Разрыв внутренней цепи – одна из неисправностей стартерных аккумуляторных батарей. В этом случае при разряде небольшим током батарея ведёт себя как исправная, а при разряде большим током (например, на стартер) напряжение отсутствует.

Разряд АКБ – преобразование химической энергии в электрическую (направление тока, обратное направлению тока при зарядке).

Регулятор напряжения – элемент конструкции генераторной установки, поддерживающий напряжение бортовой сети в заданных пределах во всех режимах работы при изменении частоты вращения ротора генератора, электрической нагрузки и температуры окружающей среды.

Режим буферной компенсации – в режиме буферной компенсации АКБ одновременно соединена с потребителями и зарядным устройством. Это означает,

что при зарядке АКБ энергия одновременно забирается из АКБ потребителями. Режим буферной компенсации необходим, например, в процессе диагностики, чтобы предупредить разряд АКБ.

Резервная ёмкость – параметр стартерной аккумуляторной батареи, характеризующий способность АКБ обеспечить необходимый минимум электрической нагрузки при выходе из строя генератора. Минимум электрической нагрузки складывается из токов, потребляемых системами зажигания и освещения, стеклоочистителем и контрольно-измерительными приборами в режиме «Зима – ночь» и составляет 25 А. Резервная ёмкость определяется временем разряда полностью заряженной батареи в минутах током 25 А до напряжения на выводах 10,5 В.

Рекомбинационная АКБ – аккумуляторная батарея закрытой конструкции. Закрытая конструкция означает, что каждый гальванический элемент с помощью клапана изолирован от атмосферы. В штатном режиме эксплуатации кислород, возникающий на положительных пластинах при зарядке, по тонким газовым каналам мигрирует к отрицательной пластине и соединяется с водородом, который возникает на этой пластине в процессе зарядки АКБ, снова образуя воду. Этот процесс также называют рекомбинацией.

Рекомбинация – реакция соединения образовавшихся вследствие диссоциации или ионизации разноимённо заряженных частей молекулы или положительно заряженного иона и электрона в нейтральную частицу.

Рекуперация – (от лат. recuperatio – «обратное получение») вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, используется для подзарядки аккумуляторов.

Рефрактометр – прибор для определения плотности электролита. Принцип действия основан на измерении показателя преломления света в электролите.

Решётка (токоотвод) – часть пластин (электродов) аккумулятора, служащая для удержания активной массы, а также сбора и передачи тока на полюсные выводы.

Самовозбуждение – режим работы генератора, при котором выработка напряжения осуществляется без предварительного подключения обмотки возбуждения к источнику тока. Наличия в стальных частях генератора остаточного магнитного потока в совокупности с высокой частотой вращения становится достаточного для возникновения выходного напряжения.

Самоограничение – свойство генераторов, благодаря которому они не могут отдать потребителям больше номинальной силы тока даже при дальнейшем увеличении частоты вращения ротора. Обусловлено зависимостью сопротивления обмотки статора от частоты переменного тока. С ростом частоты вращения растёт и частота тока, а следовательно, и сопротивление обмотки, что и обеспечивает неизменность вырабатываемой силы тока.

Саморазряд – разряд АКБ в результате химических процессов, протекающих в АКБ, не подключённой к нагрузке.

Свинцово-кальциевый сплав – материал решёток положительных и отрицательных пластин, позволивший практически устранить газовыделение из аккумуляторов (при напряжении 14 В) и саморазряд, что делает такие аккумуляторные батареи полностью необслуживаемыми. Кальциевые аккумуляторы (Ca/Ca, или Ca+) хуже переносят глубокие разряды (то есть разряды ниже 50 % состояния заряженности), а также перезаряды.

Свинцово-кислотная аккумуляторная батарея – батарея, пластины которой в заряженном состоянии состоят из двуокиси свинца (положительные пластины) или чистого свинца (отрицательные пластины). Пространство между пластинами заполнено водным раствором серной кислоты.

Сепаратор (разделитель) – проницаемый для ионов материал между пластинами электродов противоположной полярности. В качестве материала сепаратора используются полиэтилен, стекломат и другие материалы.

Серная кислота – тяжёлая маслянистая жидкость (H_2SO_4) плотностью 1,83 г/см^3 без цвета и запаха, с кислым «медным» вкусом. Используется для приготовления электролита.

Сетевая АКБ – аккумуляторная батарея, предназначенная для снабжения электроэнергией всех потребителей, за исключением стартера. Иногда такая батарея может аккумулировать электроэнергию, выработанную в процессе рекуперации.

Синхронный генератор – генератор переменного тока, отличительной особенностью которого является жёсткая связь между частотой переменной ЭДС и частотой вращения ротора.

Система управления электрической энергией – координирует во время движения согласованность генератора, аккумуляторной батареи и электрических потребителей. Она сравнивает требования к мощности потребителей с предложением мощности бортовой сети и обеспечивает в среднем равновесие между эффективностью и отдачей мощности.

Система электроснабжения – совокупность оборудования, обеспечивающего производство электроэнергии необходимого качества, распределение и передачу её потребителям.

Скоростная характеристика – это зависимость тока возбуждения *Iв* от частоты вращения *n* ротора. Характеристика снимается для постоянного значения тока нагрузки *Iн*.

Соединение фаз звездой – соединение, при котором все фазы обмотки одним выводом соединены в средней точке. Такое соединение обладает хорошими выходными характеристиками при низких оборотах автомобильного двигателя.

Соединение фаз треугольником – соединение, выполненное по схеме «конец-в-конец», то есть конец одной фазы соединён с началом другой Это соединение имеет высокие нагрузочные характеристики.

Состояние заряда (state of charge, SOC) – отношение объёма, имеющегося в аккумуляторной батарее заряда (текущего состояния заряда), к максимальному объёму заряда, который может аккумулировать новая аккумуляторная батарея.

Состояние исправности (state of heath, SOH) – показывает степень износа (деградации) аккумуляторной батареи.

Состояние функционирования (state of function, SOF) – представляет собой прогноз того, как батарея реагирует на заданный профиль нагрузки, например, сможет ли быть выполнен старт при имеющейся на данный момент степени заряженности батареи.

Стабилизатор напряжения – устройство, предназначенное для поддержания выходного напряжения в узких пределах при существенном изменении входного напряжения и выходного тока нагрузки.

Стабилитрон (диод Зенера) – полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. При наступлении пробоя сопротивление стабилитрона падает, и он пропускает ток в одном направлении.

Стартер-генератор – электрическая машина, предназначенная для электрического пуска ДВС, питания потребителей электрической энергией и подзаряда аккумуляторных батарей. Во время пуска работает в двигательном режиме, а после выхода ДВС на устойчивый режим самостоятельной работы – в режиме генератора.

Стартерная АКБ – АКБ, предназначенная преимущественно для пуска двигателя и функционирования системы зажигания.

Статор – неподвижная часть электрической машины. В генераторах переменного тока выполняет функции якоря.

Степень заряженности АКБ – показывает, насколько полно заряжена АКБ. Измеряется в процентах, хорошо коррелирует с плотностью электролита.

Стратификация – расслоение электролита по плотности. При длительном хранении батареи более плотная серная кислота опускается на дно аккумуляторной батареи. Возникает неравномерность плотности электролита, которая неблагоприятно сказывается на характеристиках батареи.

Сульфатация – преобразование активной массы АКБ в крупнокристаллический сульфат свинца ($PbSO_4$). Так же называют одну из неисправностей аккумуляторной батареи, при которой образовавшийся сульфат свинца не растворяется в процессе заряда обычными методами, что приводит к снижению ёмкости батареи.

Сурьмянистое отравление – сурьма в значительной степени отделяется в ходе эксплуатации вследствие коррозии положительной решётки, перемещается посредством электролита и сепаратора к отрицательной пластине и «отравляет» её, образуя локальные элементы. Данные локальные элементы повышают в первую очередь саморазряд отрицательной пластины и сокращают напряжение

начала газовыделения. В обоих случаях результатом является повышенный расход воды при перегрузке, что, в свою очередь, требует высвобождения сурьмы. Данный механизм самоусиления приводит к растущему в течение эксплуатации сокращению производительности. Прежде всего, в зимний период незначительный зарядный ток приводит к недостатку заряда. Батарея больше не достигает достаточно высокой степени заражённости, и необходимо часто проверять уровень электролита.

Сурьмянисто-свинцовый сплав – сплав с содержанием сурьмы до 1,8 %. Уменьшение количества сурьмы в сплаве позволило снизить интенсивность газовыделения из аккумуляторов и уменьшить саморазряд при отсутствии эксплуатации (как при хранении батареи, так и при бездействии автомобиля), что привело к снижению объёма технического обслуживания батарей. Такие батареи принято считать малообслуживаемыми.

Схема Ларионова А. Н. – схема трёхфазного выпрямителя на трёх полумостах на шести диодах, которая, в зависимости от схемы включения обмоток (звезда треугольник) имеет две разновидности: «звезда-Ларионов» и «треугольник-Ларионов».

Теплозащитный кожух – устройство, предохраняющее АКБ от перегрева. Если батарея установлена в непосредственной близости от двигателя или вблизи агрегатов с высоким тепловым излучением, высокие температуры могут негативно повлиять на стойкость АКБ к старению. Коррозия решёток положительных электродов, расход воды и саморазряд АКБ повышаются. Для противодействия этому процессу АКБ в большинстве случаев снабжаются теплозащитным кожухом из нетканого материала.

Ток утечки – ток потребителей, остающихся включёнными после выключения двигателя (например, автосигнализации).

Ток холодной прокрутки (низкотемпературный испытательный ток) – характерный для стартерных аккумуляторных батарей ток разряда, описывающий способность АКБ к запуску двигателя при низких температурах. При разряде током холодной прокрутки при температуре −18 °С напряжение на выводах АКБ через 10 секунд после начала разряда не должно быть ниже 7,5 В.

Токоскоростная характеристика – это зависимость тока генератора *Iг*, подаваемого на питание нагрузки, от частоты вращения *n* ротора. Характеристика снимается при условии, что весь ток генератора идёт на питание нагрузки и напряжение является постоянным.

Топливный элемент – электрохимическое устройство, в котором энергия окисления топлива преобразуется в электрическую.

Трансформаторно-выпрямительный блок – устройство, предназначенное для заряда аккумуляторной батареи в автомобилях с бортовой сетью, рассчитанной на два уровня напряжения: 14/28 В.

Третья гармоника – в реальных генераторах форма фазных напряжений отличается от синусоиды. Она представляет собой сумму синусоид, которые называются гармоническими составляющими или гармониками: первой, частота которой совпадает с частотой фазного напряжения, и высшими, главным образом третьей, частота которой в 3 раза выше первой. Для того чтобы использовать третью гармонику, добавляют диоды, присоединяемые к нулевой точке обмотки фаз, которые выпрямляют только напряжение третьей гармоники. Применение таких диодов на 5–15 % увеличивает мощность генератора при частоте вращения ротора более 3000 мин$^{-1}$.

Тяговая батарея – данный тип АКБ обеспечивает непрерывную работу транспортных средств, работающих на электротяге.

Уровень электролита – величина, отражающая запас электролита в батарее. Для нормальной работы батареи пластины должны быть полностью погружены в электролит. В противном случае оголённая часть пластин быстро покрывается нерастворимым сульфатом свинца и не участвует в токообразующих процессах (т. н. сульфатация). Измеряется либо стеклянной трубкой, либо по отметкам на батареях с полупрозрачным корпусом.

Ускоренный саморазряд – одна их неисправностей аккумуляторных батарей. Характеризуется быстрой потерей заряженности аккумуляторной батареи, отключённой от потребителей. Основными причинами возникновения являются: наличие на поверхности батареи загрязнений, проводящих электрический ток; применение воды или электролита, содержащих вредные примеси; хранение батарей при повышенной температуре воздуха.

Форсированный заряд – заряд в течение сокращённого времени электрическим током, в несколько раз превышающим зарядный ток. Форсированный заряд в итоге приводит к частичному заряду АКБ.

Характеристика холостого хода – зависимость выпрямленного или фазного напряжения генератора без нагрузки при постоянной частоте вращения ротора от силы тока возбуждения *Iв* или магнитодвижущей силы (МДС) обмотки возбуждения *Fв*.

Характеристическая кривая системы электроснабжения – представляет собой изменение напряжения аккумуляторной батареи по отношению к току батареи во время цикла движения. Огибающая кривая указывает на общее воздействие компонентов батареи, генератора, потребителя, температуры, частоты вращения и передаточного отношения двигатель / генератор.

Химический источник тока – устройство, в котором энергия протекания окислительно-восстановительных реакций преобразуется в электрическую. Первичные источники допускают только однократное использование и являются необратимыми источниками энергии. Вторичные источники являются обратимыми источниками энергии: после разряда их работоспособность можно восстановить путём пропускания тока в обратном направлении.

Центробежный вентилятор – получил своё название по направлению воздушного потока. Воздух засасывается по оси вентилятора и с помощью лопастей под действием центробежной силы выбрасывается перпендикулярно входному потоку. Количество лопастей оптимизируют по шагу расположения и количеству для уменьшения аэродинамического шума. Наилучшими характеристиками обладают вентиляторы с простым числом лопастей.

Циклическая стойкость – количество циклов заряд/разряд, которое может выдержать аккумуляторная батарея. Для стартерных батарей число циклов не менее 120.

Щелочной аккумулятор – аккумулятор, электролитом которого является раствор щелочи. Самыми распространёнными видами щелочных батарей являются никель-кадмиевые и никель-металлогидридные (ещё их называют никель-железные). У обоих типов аккумуляторов в заряженном состоянии активная масса положительного электрода состоит из NiOOH (гидроокись никеля) с добавлением окиси бария и графита.

Щётка – токопроводящий элемент, непосредственно соприкасающийся с контактным кольцом, предназначенный обеспечивать электрическую связь подвижной и неподвижной частей электрической машины.

Щёткодержатель – элемент конструкции генератора, обеспечивающий контакт щётки с контактным кольцом и состоящий из обоймы щёткодержателя, системы нажатия и элемента крепления. В современных генераторах щёткодержатель объединён с регулятором напряжения в единый узел. В большинстве случаев ось обоймы щёткодержателя совпадает с нормалью к поверхности контактного кольца (радиальные щёткодержатели), однако встречаются и реактивные щёткодержатели, ось обоймы которых наклонена против вращения под углом.

Электролит – ионный проводник, соединяющий электроды между собой. У свинцовых АКБ это водный раствор серной кислоты, у щелочных – водный раствор KOH (едкий калий) или NaOH (едкий натрий) с добавками LiOH (едкий литий). Электролит литий-ионных аккумуляторов может быть жидким (например, $LiFP_6$) или твёрдым.

Эффект памяти – обратимая потеря ёмкости, имеющая место в некоторых типах электрических аккумуляторов при нарушении рекомендованного режима зарядки, в частности при подзарядке не полностью разрядившегося аккумулятора. Наиболее характерен для щелочных аккумуляторов.

Якорь электрической машины – компонент электрической машины с рабочей обмоткой, то есть обмоткой, выполняющей заданную функцию: в генераторах – производство электроэнергии, в двигателях – создание механической энергии.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Книги почтой

Заказ можно сделать на сайте издательства

www.infra-e.ru

№ п/п	Наименование книги	Кол-во
1	Автомобильные шины. Вчера, сегодня, завтра	
2	Автотехническая экспертиза	
3	Англо-русский словарь дорожника	
4	Англо-русский словарь по мостам и тоннелям	
5	Англо-русский универсальный транспортный словарь	
6	Дороги мира. История и современность	
7	Защитная и коммутационная аппаратура автомобилей	
8	Зимнее содержание городских дорог	
9	Информационно-измерительная система автомобилей	
10	Конструкция автомобиля	
11	Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог	
12	Модернизация двигателей внутреннего сгорания: цилиндропоршневая группа нового поколения	
13	Особенности конструкции, эксплуатации, обслуживания и ремонта силовых агрегатов грузовых автомобилей	
14	Русско-английский железнодорожный словарь	
15	Системы электроснабжения транспортных средств	
16	Справочник инженера предприятия технологического транспорта и спецтехники (в 2-х томах)	
17	Системы безопасности автомобилей	
18	Справочник конструктора. В 2-х книгах	
19	Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог	
20	Топливо, смазочные материалы и технические жидкости	
21	Французско-русский железнодорожный словарь	